



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY**

## **VADY OCELOVÝCH ODLITKŮ**

**DEFECTS IN STEEL CASTINGS**

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE**  
**AUTHOR**

**PETR JAKUBEC**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
**SUPERVISOR**

**Ing. VÍTĚZSLAV PERNICA**

**BRNO 2015**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Petr Jakubec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Vady ocelových odlitků**

v anglickém jazyce:

### **Defects in steel castings**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vznik většiny slévárenských vad je ovlivněn mnoha proměnnými faktory, z nichž některé prozatím neumíme matematicky specifikovat. V současné době je známo, že příčiny vzniku vad jsou komplexní a také řešení musí zvažovat všechny technické, organizační i lidské faktory.

Cíle bakalářské práce:

Provést literární rešerši na téma vady ocelových odlitků a na jejím základě popsat nejčastější vady, jejich příčiny a možná opatření proti jejich vzniku či omezení výskytu.

Seznam odborné literatury:

1. ŠENBERGER, J., aj. Metalurgie oceli na odlitky. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství Vutium, 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
2. ELBEL, T., aj. Vady odlitků ze slitin železa (klasifikace, příčiny a prevence). Brno: MATECS, 1992. 340 s.
3. LEVÍČEK, P. a STRÁNSKÝ, K. Metalurgické vady ocelových odlitků. Praha: SNTL, 1984. 269 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vítězslav Pernica

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá problematikou vad, které se vyskytují u ocelových odlitků. Na začátku popisuje použití oceli ve slévárenství a vývoj klasifikace vad odlitků. Dále definuje vadu odlitku a její dělení. V hlavní části práce je pozornost věnována nejčastějším vadám ocelových odlitků. Tato literární rešerše se zaměřuje především na popis jednotlivých vad, na příčiny jejich vzniku a uvádí možná opatření k zamezení jejich vzniku. Jsou zde zmíněny možné způsoby odstraňování vad a jejich opravy.

**Klíčová slova:** ocelové odlitky, vady odlitků, klasifikace vad odlitků

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the problems of defects that occur in steel castings. First, the use of steel in the foundry industry and the development of classification of casting defects are described. Furthermore, it defines the term 'casting defect' and its division. The main part of the thesis focuses on the most frequent defects in steel castings. The aim of this literature search is to describe the casting defects and their causes and to present possible precautions against their rise. Possible ways of removing the casting defects are discussed as well as their repairs.

**Keywords:** steel castings, casting defects, classification of castings defects

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JAKUBEC, P. *Vady ocelových odlitků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vítězslav Pernica.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci na téma „Vady ocelových odlitků“ jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....  
Petr Jakubec

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Vítězslavu Pernicovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 OCEL VE SLÉVÁRENSTVÍ .....</b>	<b>10</b>
<b>2 KLASIFIKACE VAD ODLITKŮ Z POHLEDU HISTORIE.....</b>	<b>12</b>
<b>3 DEFINICE VADY ODLITKU A JEJÍ DĚLENÍ.....</b>	<b>14</b>
<b>4 NEJČASTĚJŠÍ VADY OCELOVÝCH ODLITKŮ .....</b>	<b>15</b>
4.1 Vady povrchu (200) .....	15
4.1.1 Drsný povrch (211), Povrchové připečeniny (212) .....	15
4.1.2 Hluboké připečeniny, zapečeniny (213) .....	16
4.1.3 Zálupy (220) .....	17
4.1.4 Nárosty (230) .....	18
4.1.5 Výronky (240).....	19
4.1.6 Pomerančová kůra (271) .....	19
4.1.7 Zvrásnění povrchu (272).....	19
4.1.8 Neštovice (273).....	20
4.1.9 Vady povrchové ochrany odlitku (280) .....	20
4.2 Dutiny (400).....	21
4.2.1 Bubliny (410).....	21
4.2.2 Zahlcený plyn (414), Síťkovité bubliny (415).....	22
4.2.3 Bodliny (420).....	23
4.2.4 Odvařeniny (430).....	23
4.2.5 Staženiny (440) .....	24
4.3 Makroskopické vměstky a vady makrostruktury (500) .....	25
4.3.1 Struskovitost (510).....	26
4.3.2 Nekovové vměstky (520).....	26
4.3.3 Makrosegregace a vycezeniny (530) .....	27
4.3.4 Broky (540), Kovové vměstky (550), Nevyhovující lom (560) .....	28
4.4 Vady mikrostruktury (600) .....	29
4.4.1 Mikroskopické dutiny (610) .....	29
4.4.2 Vměstky (620) .....	30
4.4.3 Nesprávná velikost zrna (630) .....	30
4.4.4 Nesprávný obsah strukturních složek (640).....	31
4.4.5 Oduhličení povrchu (670).....	31
4.4.6 Jiné vady mikrostruktury (680).....	31
4.5 Vady chemického složení a vlastností odlitků (700) .....	32
4.5.1 Nesprávné chemické složení (710) .....	32
4.5.2 Nevyhovující homogenita odlitku (740).....	32
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>33</b>



## ÚVOD

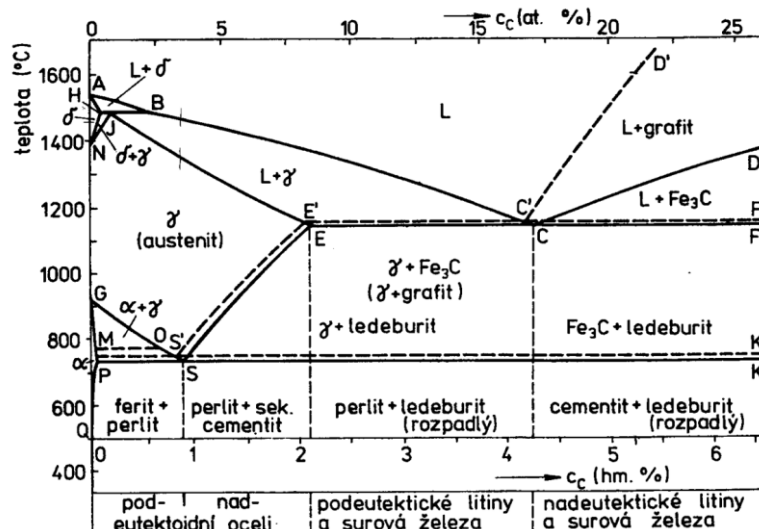
Výroba odlitků bez vad není v současné době možná ani za použití moderních technologií, které se ve slévárenství zavádějí. Vady ocelových odlitků jsou jevy nežádoucí, avšak neodlučitelně spjaté s výrobou oceli a jsou výsledkem několika příčin. Těmito příčinami, které vedou ke vzniku neshodného výrobku (zmetku), jsou technologické a metalurgické faktory a především prostá lidská nekázeň. Při posuzování technologičnosti konstrukce odlitku je nutná dobrá spolupráce slévárenských technologů a konstruktérů. Z pohledu metalurgie je zase důležitá spolupráce metalurga a taviče při přípravě materiálu. Důsledky vad při nedodržení předepsaného postupu na všech úsecích výroby odlitku mohou být podle funkce, kterou budou odlitky v praxi plnit, bezvýznamné až katastrofální. Vyrobit vysoce jakostní odlitek je ekonomicky a technologicky velice náročné. Umět řídit jakost ve slévárenství znamená mít schopnost identifikovat vady a znát postupy, jak těmto vadám předcházet. Diagnostika vad je klíčová ke snížení nákladů ve slévárně. [1], [2], [3], [4]

Pomocníkem ke správné diagnostice vad je systém klasifikace vad. Je možné používat dosud platnou normu ČSN 42 1240, která se zabývá názvoslovím a tříděním vad odlitků. V literatuře je hojně používán také návrh klasifikace vad odlitků od T. Elbela [3]. [5]

Nejčastější vady ocelových odlitků můžeme nalézt na jejich povrchu a také uvnitř, kde jsou tvořeny různými dutinami, vměstky, nesprávnou strukturou a nesprávným chemickým složením.

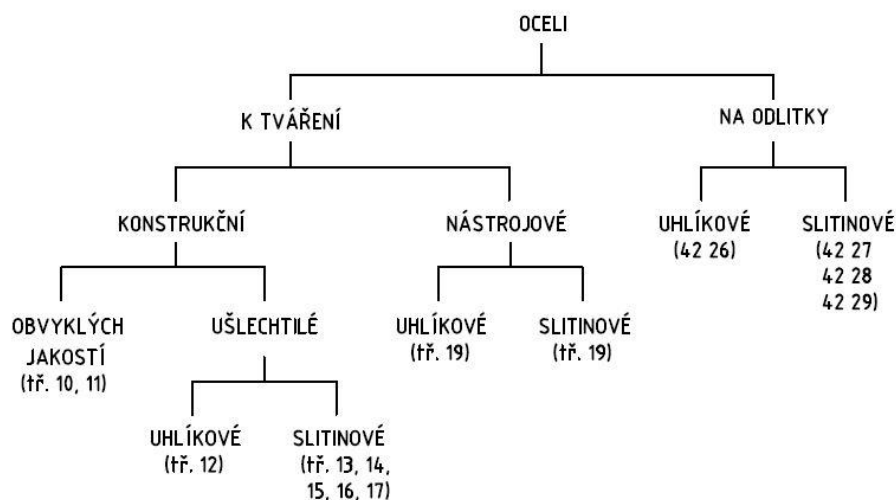
# 1 OCEL VE SLÉVÁRENSTVÍ

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14 % uhlíku. Při obsahu uhlíku vyšším než 2,14 % se jedná o litiny. Rozdělení slitin železa podle obsahu uhlíku je zobrazeno v rovnovážném diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C na obr. 1.1. Ocel, která se taví při teplotě 1150 až 1539 °C, je nejčastěji používaným kovovým materiálem a její charakteristickou vlastností je tvárnost, pevnost a houževnatost. [6]



Obr. 1.1 Rovnovázný diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [7]

Oceli se podle výroby dělí na oceli k tváření nebo na odlitky (viz obr. 1.2). Podíl výroby ocelí na odlitky v celkové výrobě oceli je velice nízký. Podle publikace [7] bylo v roce 2000 ve světě množství vyrobené oceli odhadováno na 800 milionů tun. Z tohoto množství činí 98 % tvářená ocel a zbylé 2 % ocel na odlitky, což je z celkového množství pouze 16 milionů tun. Podle jiné publikace [2] byla po roce 2000 světová roční výroba oceli pro tváření miliarda tun. Roční výroba oceli na odlitky byla však pouze okolo šesti milionů tun, což činí pouze 0,6 % z celkové výroby oceli.



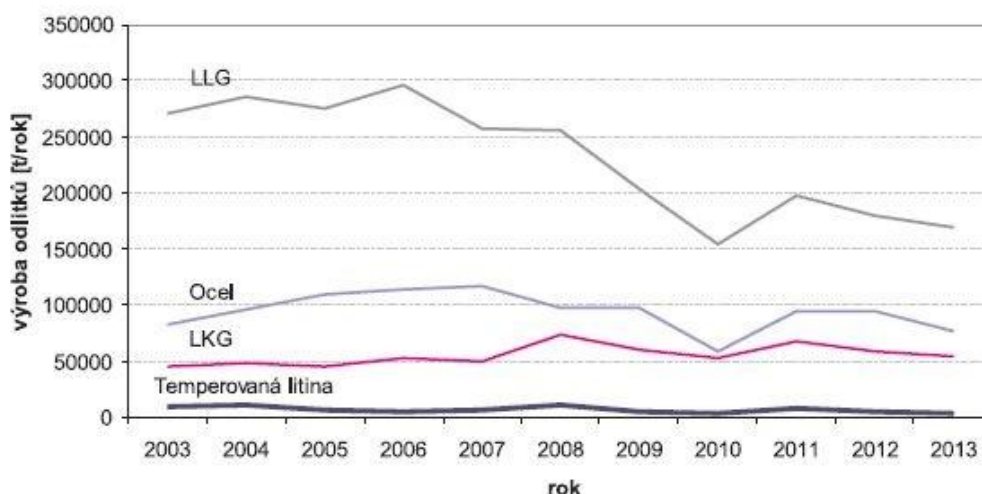
Obr. 1.2 Rozdělení ocelí [8]

Tato ocel má v porovnání s ocelí k tváření horší mechanické vlastnosti, které lze však zlepšit tepelným zpracováním. Nachází uplatnění především při výrobě tvarově složitých součástí pomocí slévárenské technologie, která je mnohem levnější než jiné technologie (obrábění, svařování). [9]

Sortiment ocelí na odlitky je v českých slévárnách rozdělen do tří skupin. První skupinou jsou oceli pro všeobecné použití, které se dále dělí na nelegované oceli, nízkolegované chrom-molybdenové, podskupinu chrom – molybden – niklové oceli, které zahrnují oceli nízkolegované, středně legované a vysokolegované. Druhou skupinou jsou korozivzdorné oceli dělené podle struktury na martenzitické, austenitické, plně austenitické a austeniticko-feritické. Poslední skupina žáruvzdorných ocelí se také rozděluje podle struktury na feritické, feriticko-austenitické a austenitické.

Slévárnictví má v naší zemi dlouholetou tradici. Do šedesátých let 20. století se ve slévárnách oceli a hutních závodech pro výrobu oceli na odlitky i oceli k odlévání ingotů používaly stejné technologie a zařízení. V posledních desítkách let byly velké hutní podniky modernizovány a tím se výrazně zvýšila výrobnost jednotlivých agregátů. Vložené vysoké investice na taková zařízení kryje vysoká produktivita hutní ocelárny.

I když bylo bývalé Československo největším producentem ocelových odlitků v Evropě, tak v posledních desetiletích u nás výroba ocelových odlitků stagnuje. Na našem území se před rokem 1989 ročně vyprodukovalo více než 300 tisíc tun ocelových odlitků. Po roce 1991 klesla jejich výroba na třetinu a i po roce 2000 se stále produkce ocelových odlitků drží na stejných hodnotách. V dnešní době v jedné slévárně oceli činí tavící kapacita obvykle desítky tisíc tun, v hutní ocelárně to jsou miliony tun. Je to dáno také tím, že v hutních ocelárnách je denní odběr tekutého kovu plynulý, ale ve slévárnách kolísá podle vyráběného sortimentu. Na obr. 1.3 je zobrazen podíl výroby ocelových odlitků k výrobě odlitků z litiny s lupínkovým grafitem (LLG), litiny s kuličkovým grafitem (LKG) a temperované litiny. Produkce odlitků ze slitin železných kovů u nás neustále klesá. V letech 2003 až 2013 byla nejnižší výroba, jež vznikla důsledkem celosvětové finanční krize, zaznamenána v roce 2010. V České republice se výrobou odlitků z oceli zabývá více než 20 sléváren z přibližného celkového počtu 170. [2]



Obr. 1.3 Výroba odlitků ze slitin železných kovů v ČR v letech 2003 – 2013 [10]

Každý vyrobený odlitek je více či méně postihnut vadami, kterými je nutné se zabývat. Pro objasnění příčin vzniku vad, jejich identifikaci a snahu minimalizovat jejich výskyt v odlitcích začali vznikat v minulém století první práce zabývající se touto problematikou.

## 2 KLASIFIKACE VAD ODLITKŮ Z POHLEDU HISTORIE

Správné určení druhu vady je nezbytné pro následné stanovení původu vady, její příčiny vzniku a prostředků nutných k zabránění jejího vytvoření. První práce slévárenských odborníků vznikly již před druhou světovou válkou. S rozvíjející se technikou a poznáním o slévárenských pochodech při tvorbě litých polotovarů se klasifikace vad odlitků neustále upřesňovala a rozšiřovala. Vůbec první atlas vad odlitků vznikl na půdě britského slévárenského institutu v roce 1946. Jeho druhé revidované vydání z roku 1961 popisuje 54 vad seřazených abecedně. V padesátých letech minulého století byly vypracovány příručky vad odlitků všemi průmyslově vyspělými zeměmi včetně tehdejšího Československa. Pánové Plešinger a Příbyl zpracovali kvalitní monografie se směrnicemi pro posuzování vad odlitků a s návody pro odstranění těchto defektů. Na základě těchto dvou prací byla roku 1955 vydána norma ČSN 42 1240, jež byla v roce 1965 novelizována. Tato norma, jenž je zpracována v příloze 2, obsahuje 37 druhů vad, které jsou roztrženy do 7 skupin. Uvedené třídění vad je platné pro všechny typy slévárenských slitin bez ohledu na způsob výroby a technologii odlévání. [3]

Ve Francii byl vydán dosud nejpodrobnější atlas vad odlitků jako společné dílo uznávaných odborníků z 18 zemí pod záštitou Mezinárodní slévárenské společnosti (CIATF). První díl byl vydán v roce 1952 a druhý pak v roce 1955. Bylo v nich zachyceno celkem 200 vad, které se vyskytují ve slitinách železa a neželezných kovů. Tyto vady byly zařazeny do 9 skupin a označeny pomocí čtyřmístného číselného kódu. Kolem roku 1965 vyšlo upravené vydání a tím vznikla nejpropracovanější klasifikace vad odlitků pro všechny druhy slitin na odlévání. V tomto díle jsou vady roztrženy do 7 tříd, 17 skupin, 41 podskupin se 109 vadami. Každá vada je označena čtyřmístným znakem. V bývalém SSSR byla ve stejnou dobu jako u nás vydána příručka, která obsahuje 36 vad zařazených do 9 skupin. Velmi podrobnou normu mělo také Polsko. Norma zahrnovala 64 vad roztržných do 5 skupin. V roce 1980 vznikla norma v Bulharsku, která má vady odlitků rozděleny do 8 skupin. [3], [11]

Nové poznatky o příčinách a mechanismu vad odlitků vyžadovaly přepracování jednoduché klasifikace vad používané v normě ČSN 42 1240 s dvojciferným značením. Tato zastaralá norma nedovolovala další rozšiřování počtu vad, zejména v první a druhé skupině. V 80. letech minulého století byl podán návrh na značení vad trojmístným kódem. Tento návrh byl vydán ve formě publikace Českého výboru slévárenské společnosti roku 1987. Nové vady, o které byla klasifikace rozšířena, byly rozčleněny podle příčin vzniku. Vzniklo 108 možností jak popsat neshodu slévárenského výrobku. Vady byly rozděleny do 7 tříd, které mají své charakteristické číslo 100 až 700. Třídy se dále dělí na 38 skupin vad, z tohoto počtu jich 20 vyjadřuje přímo vadu, zbylých 18 skupin se dělí na 70 jednotlivých vad. Tato klasifikace respektuje značení Mezinárodního atlasu vad odlitků i jeho roztržení vad. Snahou autorů bylo také ponechání terminologie vad i základního číslování vad z ČSN 42 1240. Pod vedením T. Elbela a ve spolupráci těchto autorů, již zmíněného návrhu nové klasifikace, byla vydána monografie z roku 1992 o vadách odlitků ze slitin železa [3]. Tato práce nebyla vydána jako státní norma, ale přesto ji řada sléváren a odborníků využívá dodnes. Návrh klasifikace vad odlitků je zobrazen v příloze 1.

Za zmínku také stojí návrh klasifikace vad odlitků od J. Čecha a F. Kristoně [12] z roku 1990. Tento návrh byl vydán dříve než kniha T. Elbela [3], ale nebyl dále používán jinými autory ve svých pracích. Vady jsou také rozděleny do sedmi tříd 100 až 700, ale skupin vad je méně a to 36 a z tohoto počtu se jich 17 dále člení na 64 jednotlivých druhů vad.

V tab. 2.1 jsou přehledně zpracovány rozdíly ve způsobu dělení vad dosud platné normy ČSN 42 1240 a dodnes využívaného návrhu klasifikace T. Elbela.

Tab. 2.1 Rozdíly v členění vad podle ČSN 42 1240 a knize T. Elbela [3]

Klasifikace podle normy ČSN 42 1240	Počet skupin		Počet druhů
	7		37
Návrh klasifikace podle [3]	Počet tříd	Počet skupin	Počet druhů
	7 (100 až 700)	38	70 (roztříděných do 18 skupin)

V tab. 2.2 je zobrazeno, jak byly změněny názvy tříd vad podle [3], které jsou v ČSN 42 1240 označeny jako skupiny. V návrhu klasifikace podle [3] se třetí kategorie přejmenovala z *přerušeni souvislosti* na *porušení souvislosti*. V páté a šesté kategorii se změnilly názvy vad podle rozdělení na vady makrostruktury a mikrostruktury. V sedmé kategorii je místo názvu *vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti* použit název *vady chemického složení a vlastností odlitků*.

Tab. 2.2 Změny v názvech skupin (tříd) vad

Klasifikace podle normy ČSN 42 1240		Návrh klasifikace podle [3]	
Skupina vad	Název skupiny vad	Třída vad	Název třídy vad
3	Přerušeni souvislosti	300	Porušení souvislosti
5	Vměstky	500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury
6	Vady struktury	600	Vady mikrostruktury
7	Vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti	700	Vady chemického složení a vlastností odlitků

V posledních 20 letech byly vydány i další monografie vycházející z pokroku v poznávání slévárenských pochodů a z využívání moderních laboratorních a detekčních postupů k odhalování vad či z využívání matematického modelování. Například u nás byl vydán Atlas vad železných i neželezných slitin [5], jehož autorem byl V. Otáhal. [3], [11], [12]

### 3 DEFINICE VADY ODLITKU A JEJÍ DĚLENÍ

Za vadu odlitku se považuje každá odchylka rozměrů, hmotnosti, vzhledu, struktury, celistvosti, chemického složení nebo mechanických či fyzikálních vlastností od příslušných norem, standardů, výkresů a technických podmínek. Vady se zjišťují vizuálně, měřením, vážením nebo také laboratorními zkouškami a nedestruktivními metodami.

Dle stanovených norem nebo sjednaných technických podmínek se může stát, že stejná odchylka je někdy vadou přípustnou, jindy nepřípustnou, opravitelnou nebo odstranitelnou. Proto má termín „vada odlitku“ podmíněný význam. Vady odlitku se tedy dělí na [3]:

- Zjevná vada – vada, kterou lze odhalit při prohlídce neobrobeného odlitku prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly. Jedná se především o vnější povrchové vady.
- Skrytá vada – vada, kterou lze odhalit až po obrobení odlitku nebo speciálními měřidly či prostředky, například prorýsováním, nebo za pomoci vhodných přístrojů či laboratorních zkoušek. Většina těchto vad se nachází uvnitř odlitku. [2], [3]

Podle odchylky od předem sjednané jakosti mezi výrobcem a odběratelem se vady dělí na:

- Přípustná vada – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, kterou tyto dokumenty připouštějí nebo ji výslovně nezakazují. [3], [11]
- Nepřípustná vada – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, která nelze odstranit opravením, nebo jejíž oprava je podle sjednaných podmínek nebo příslušných norem nepřípustná. Odlitek, který obsahuje nepřípustnou vadu se označuje termínem neshodný výrobek. [2], [3]
- Opravitelná vada – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, jejíž oprava vhodným způsobem (zavařením, vyrovnáním, vyžiháním) je dle sjednaných podmínek nebo příslušných norem dovolena nebo není výslovně zakázána. [2]
- Odstranitelná vada – vada, která je takovou odchylkou od sjednaných podmínek nebo příslušných norem, kterou je možné po dohodě s odběratelem odstranit jen speciálními úpravami a nepředpokládanými výrobními postupy. [2], [3]

## 4 NEJČASTĚJŠÍ VADY OCELOVÝCH ODLITKŮ

Ke zjištění příčin vzniku a podstaty vad, k hledání prostředků k jejich odstranění a prevenci je vyžadována znalost technologie odlévání, zákonitostí slévárenských pochodů a zařízení, potřebných k výrobě odlitku. Mnoho příčin už pramení z nevhodné konstrukce odlitku, jeho tvaru a z nevhodně zvoleného materiálu. Další příčiny spočívají také v metalurgii. Je nutné dodržet chemické složení materiálu, ale také všechny zásady tavby a úpravy tekutého kovu včetně dodržení předepsaných teplot. Mnoho neshodných výrobků také vzniká špatně zvoleným výrobním postupem. Nejčastější příčinou stále zůstává prostá lidská nekázeň při nedodržení správné slévárenské výroby odlitku. [3]

Ve slévárenských provozech se nejčastěji vyskytují vady ocelových odlitků spadající do kategorií: *vady povrchu* (200), *dutiny* (400), *makroskopické vměstky a vady makrostruktury* (500), *vady mikrostruktury* (600) a *vady chemického složení a vlastností odlitků* (700). [2]

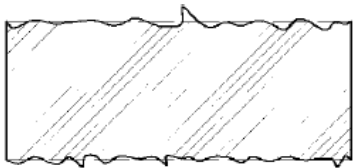
### 4.1 VADY POVRCHU (200)

Vady na povrchu odlitku lze zařadit mezi zjevné vady, které lze odhalit prostým okem při prohlídce neobrobeného odlitku po otryskání a očištění. V naprosté většině jsou to vady odstranitelné, avšak odstraňování je velice pracné a finančně náročné. Tím se snižuje konkurenceschopnost příslušných sléváren. Do této třídy spadá největší počet druhů vad. Nachází se zde celkem 8 skupin s 23 druhy vad.

Převážně to jsou vady vzhledu odlitku, které nemají vliv na životnost a funkci odlitku a záleží pouze na odběrateli v jaké míře bude ochoten příslušnou vadu tolerovat. Převážnou část této třídy tvoří určité výstupky a nárůsty a proto sem byly zařazeny *zatekliny* (260), které v normě ČSN 42 1240 patří do první skupiny. I když jsou *zavaleniny* (341) vzhledovou vadou na povrchu odlitku, tak byly naopak přeřazeny do třídy 300, protože zároveň porušují souvislost odlitku. Mezi časté vady povrchu ocelových odlitků patří *výronky* (240), *výpotky* (250) a *zatekliny* (260), které pouze ovlivňují vzhled odlitku. Rozsáhlou skupinou jsou v této třídě *nepravidelnosti povrchu odlitku* (270), které obsahují 7 druhů vad. Velice náročné na odstranění jsou vady skupin *přípečeniny* (210), *zálupy* (220) a *nárůsty* (230). Na vznik některých vad této třídy má vliv reoxidace. Reoxidací kovu se označuje oxidace proudu kovu během lití do formy. Jedná se o reakce mezi tekutým dezoxidovaným kovem a okolní atmosférou například v dutině formy nebo vtokové soustavě. Při tomto procesu kov přijímá kyslík ze svého okolí. [2], [13]

#### 4.1.1 DRSNÝ POVRCH (211), POVRCHOVÉ PŘIPEČENINY (212)

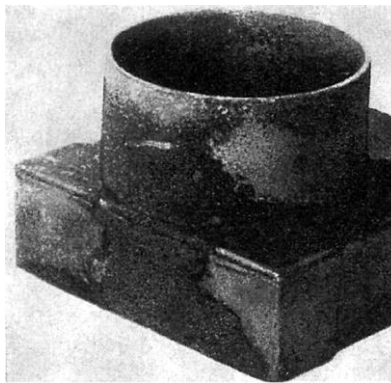
Obě vady spadají pod skupinu *přípečeniny* (210) a mají toho v mnoha ohledech hodně společného. *Drsný povrch* je jedním z mnoha základních kvalitativních kritérií odlitku při prodejnosti.



Obr. 4.1 Schéma vady drsný povrch [11]

*Drsný povrch* vzniká, když tekutý kov neproniká do větší hloubky povrchu pískové formy než do poloviny průměru zrna ostřiva a kopíruje povrch formy bez vzájemných reakcí. Oddělení vrstvy písku přilehlé k povrchu odlitku je snadné. Čištěním se však výrazně mění povrchová drsnost litého povrchu v kladném i záporném smyslu. [3], [5], [14]

*Povrchové připečeniny* vznikají pokud dojde k fyzikálně-chemickým reakcím na rozhraní forma-kov a k penetraci kovu do větší hloubky než je polovina průměru zrna ostřiva. Vznikají často na rovných plochách a jsou těžce oddělitelné od povrchu. Vysokou adhezi připečenin k povrchu odlitku způsobuje tvorba vícesložkových skel. *Povrchové připečeniny* se odstraňují tryskáním a broušením. [3], [14]



Obr. 4.2 Povrchová připečenina na odlitku [15]

#### **Příčiny vzniku:**

Tekutý kov kopíruje jak tvar slévárenské formy, tak i nerovný povrch stěn a tudíž záleží na zabíhavosti materiálu. Obě vady se často vyskytují v blízkosti zářezů, v oblastech vysokého tepelného zatížení a v místech, kde jsou forma nebo jádro méně spěchovány. [3], [5]

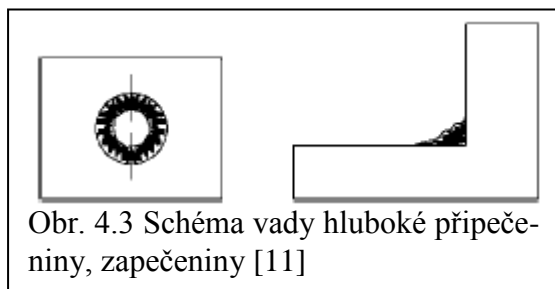
#### **Opatření proti vzniku:**

Výskyt obou vad lze omezit použitím ochranných nátěrů s vysokožáruvzdornými plnivy (zirkon, korund, chrommagnezit) a zhuštěním formy.

U syrových forem pro ocelové odlitky do hmotnosti 25 kg je vhodné zvolit optimální velikost ostřiva  $d_{50} = 0,17$  mm. Vadám lze předcházet volbou nižší lící teploty kovu, se kterou se zvyšuje viskozita a nedochází k pronikání kovu mezi zrna ostřiva. Pro vadu *drsný povrch* je důležitá poloha odlitku ve formě. Vysoké odlitky jsou v horní části o 10 až 20 % hladší než ve spodní části. Rovněž vysoká tepelná vodivost a tepelně akumulční schopnost formy přispívá k vyšší hladkosti povrchu odlitku. Dále pak je důležité zvolit při čištění pomocí tryskání vhodné tryskační prostředky a dobu tryskání. [3], [11]

### **4.1.2 HLUBOKÉ PŘIPEČENINY, ZAPEČENINY (213)**

Tato vada, rovněž spadající do skupiny *připečeniny* (210), vzniká, když tavenina



Obr. 4.3 Schéma vady hluboké připečeniny, zapečeniny [11]

pronikne do značné hloubky, zpravidla několik cm. Tím vzniká konglomerát formovací směsi a kovu v tepelně exponovaných místech formy nebo jádra. Jedná se o vadu převážně masivních odlitků. Zapečenina je velmi těžce oddělitelná od povrchu odlitku a odstraňuje se vypalováním pomocí uhlíkových elektrod, vysekáváním a

broušením. [3], [14]

#### **Příčiny vzniku:**

Vznik *hlubokých zapečenin* je obecně velmi složitý a je popsán několika mechanismy. U ocelí často nastává oxidická penetrace (chemická penetrace), při níž je kov nasáván do mezizrnových prostorů.

Na vznik zapečenin obecně působí mnoho faktorů:

- teplota odlévaného kovu (stupeň přehřátí)
- druh kovu (obsah legur)
- stupeň dezoxidace kovu
- metalostatický a metalodynamický účinek kovu
- povrchové napětí kovu, jeho viskozita a úhel smáčení formy kovem



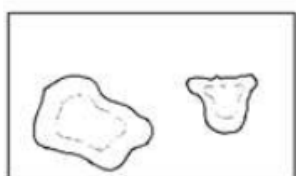
- druh ostřiva a pojivové soustavy
- velikost zrna ostřiva a jejich tvar (hranatost)
- mineralogická a chemická čistota přírodních ostřiv
- stupeň zhuštění formy (velikost pórů)
- chemická povaha kovu a formy
- plynový režim formy (chemická povaha a tlak plynů)

#### **Opatření proti vzniku:**

K zamezení výskytu *hlubokých zapečenin* je doporučováno odlévat taveninu oceli po dokonalé dezoxidaci a při co nejnižší lici teplotě, zabránit reoxidaci taveniny a při odlévání zabránit dynamickým rázům taveniny na stěny formy. Dále se líc formy natírá jakostními nátěry. [2], [3]

#### **4.1.3 ZÁLUPY (220)**

*Zálupy* jsou povrchovou vadou odlitků odlévaných do syrových forem. V této skupině můžeme nalézt 3 druhy vad. Jsou jimi *zálup na horní ploše formy* (221), *zálup na dně formy* (222) a *zálupové síťoví* (223).



Obr. 4.4 Schéma vady zálup na horní ploše formy [11]

*Zálupy na horní ploše formy* jsou mělké prohlubně buď otevřené nebo překryté tenkou vrstvou kovu, které někdy bývají vyplněny formovacím materiálem. Vznikají oddělením lící části formy působením sálavého tepla kovu.

*Zálupy na dně formy* mají stejný popis jako na vršku formy, avšak vznikají oddělením lící vrstvičky spodní části formy, působením nerovnoměrně proudící a přelévající se odlévané taveniny po dně formy.

*Zálupové síťoví* vzniká především na dně formy a je tvořeno velice tenkými, jemnými a rozvětvenými nárosty, které se obvykle překrývají a bývají označovány jako „krysy ocásky“. Zvláštním druhem jsou *nátěrové zálupy*, které vznikají při odlupování nejakostní nátěrové vrstvy s nízkou adhezí k povrchu formy. Vznikají působením sálavého tepla a odpařováním přebytku nosné kapaliny (vody), nebo při rozrušení pojiva v lící vrstvě formy nosnou kapalinou nátěru. Tento druh vady není součástí žádné klasifikace vad, které jsou zobrazeny v příloze. [2], [3], [14]

#### **Příčiny vzniku:**

Hlavní příčinou skupiny *zálupy* je napětí z brzděné tepelné dilatace ostřiva. Dalšími příčinami je vznik kondenzační zóny vody a pokles mechanických vlastností v převlhčené vrstvě, odpařovací tlak vodní páry a tlak plynů.



Obr. 4.5 Vada zálup na horní ploše formy [16]

#### **Opatření proti vzniku:**

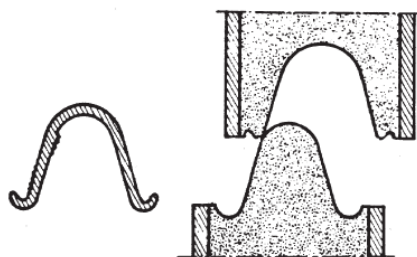
Nejúčinnějším způsobem zamezení vzniku *zálupů* je rychlé a plynulé plnění formy při odlévání. K prevenci vady je také vhodné odlévat oceli při co nejnižší lici teplotě. [2], [3]

#### 4.1.4 NÁROSTY (230)

Do skupiny *nárosty* jsou zařazeny 4 druhy vad, které se podle mechanismu vzniku dělí na *vyboulení* (231), *odřetí a shrnutí* (232), *utržení a sesutí* (233) a *erozi* (234). *Nárosty* jsou výstupky nebo hrbolky, vzniklé ztuhlou taveninou, která obsahuje části formovacího materiálu. Jsou pevně spojeny s povrchem odlitku a často bývají doprovázeny *zadobeninami* a *rozplaveným pískem*, což jsou vady z třídy 500. Nárosty se odstraňují odsekáním nebo odbroušením.

*Vyboulení* (231) lze popsat jako přebytečný kov na vnitřních nebo vnějších plochách odlitků a jsou doprovázeny zvýšenou drsností nebo *zapečeninami*.

*Odřetí, shrnutí* (232) je geometricky nepravidelný nárost kovu na vertikálních plochách odlitku ve směru skládání formy či zakládání jádra. Obvykle se nachází na několika místech.



Obr. 4.6 Schéma vady při shrnutí formy [14]

*Utržení, sesutí* (233) je nepravidelný nárost kovu na povrchu odlitku, který má tvar části utržené formy nebo odlomeného jádra.

*Eroze* (234) je nepravidelný nárost vznikající v blízkosti vtoku nebo ve spodní části formy ve směru proudu kovu. [11], [14]

##### **Příčiny vzniku:**

*Vyboulení* vzniká vlivem statického a dynamického tlaku kovu při nedokonalé spěchované formě, nedokonalé vytvrzeném jádru a při překonání únosnosti stěn formy.

*Odřetí, shrnutí* vzniká nepřesným poskládáním formy, opotřebením zaváděcích kolíků a otvorů v rámu, deformovanými formovacími rámy a vadně založeným jádrem.

*Utržení, sesutí* vzniká utržením části formy při vytahování modelu, nízkou pevností v tahu bentonitové směsi, špatnými úkosi na modelu, kondenzací par na studených kovových modelech a rázy při dopravě a skládání formy.

Příčinou vzniku *eroze* je nedostatečná kohezční pevnost mezi zrny ostřiva, nevhodná konstrukce vtokové soustavy a vysoká teplota kovu při odlévání.



Obr. 4.7 Vnější vyboulení na ocelovém odlitku [14]

##### **Opatření proti vzniku:**

K zamezení vzniku *vyboulení* je vhodné zvýšit intenzitu pěchování, zvýšit obsah pojiva ve směsi, změnit polohu odlitku ve formě pro snížení tlaku taveniny a nahradit syrovou formu chemicky nebo fyzikálně tvrzenou směsí.

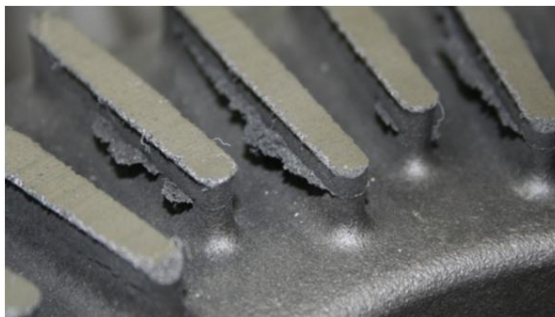
K prevenci vzniku vady *odřetí, shrnutí* je doporučeno změnit technologii formování, zkontrolovat zaváděcí kolíky a otvory v rámu, složením zkontrolovat, jestli nedošlo k odřetí formy a u odlitků s tenkými svislými stěnami upravit jejich konstrukci.

Aby nedocházelo ke vzniku vady *utržení, sesutí* se sleduje pevnost směsi v tahu nebo rozštěpu a kontroluje se aktivní a mrtvý bentonit ve směsi. Dále je třeba kontrolovat modelové zařízení, stejnoměrně pěchovat formu a zpevnit části formy, které jsou zvláště náchylné k utržení.

Pro prevenci vzniku *eroze* je používáno pojivo s vyšší pevností za vysokých teplot, je uplatňováno stejnoměrné a silné pěchování formy, snížení výtokové rychlosti v zářezech, rozdělení proudu kovu do více zářezů, použití dopadových jader a použití žáruvzdorných nátěrů pro ochranu namáhaných míst. [14]

#### 4.1.5 VÝRONKY (240)

Skupina vad *výronky* vzniká, když tavenina zatéká do trhlin, tvořících se následkem dilatace formovacího materiálu. Lze je popsat jako vystouplé žebroví nebo žilkové síťoví. Vyskytují se na zaoblených hranách jader (formy) a na válcovitých plochách a jsou dobře oddělitelné od povrchu odlitku. [2]



Obr. 4.8 Výronky na brzdovém kotouči [17]

##### ***Příčiny vzniku:***

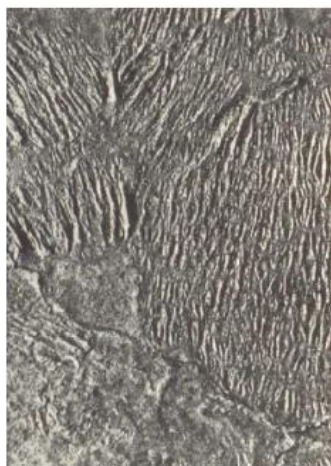
Tato vada je typickým příkladem povrchové vady z napětí. Při prasknutí líce jádra masivního ocelového odlitku, opatřeného nátěrem, vzniká místo pro hlubší proniknutí kovu a v místech výronků se vytvoří zapečenina.

##### ***Opatření proti vzniku:***

K zamezení vzniku *výronků* se zvyšuje obsah pojiva ve směsi, používají se ochranné nátěry s obsahem oxidů železa v jemné práškovité formě, nahrazují se křemenné písky nekřemennými ostřivy a používají se oxidy Fe přímo do směsi. [3], [14]

#### 4.1.6 POMERANČOVÁ KŮRA (271)

Vada *pomerančová kůra* je součástí skupiny vad *nepravidelnosti povrchu odlitku* (270) a má tvar malých prohlubní, které opravdu připomínají drsný povrch pomeranče nebo kůži krokodýla. Je typickou vadou ocelových odlitků litých do pryskyřičných skořepinových forem. Vyskytuje se zvláště u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Nejvíce se tvoří na rovných plochách odlitků, kde probíhají tepelné dilatace skořepinové formy. U tohoto typu odlévání je většinou povrch odlitku hladký, a proto je *pomerančová kůra* vizuálně velmi nápadná.



Obr. 4.9 Vada pomerančová kůra [18]

##### ***Příčiny vzniku:***

Vznik vady záleží na druhu litého kovu a na dilatačních průhybech skořepinové formy ve vztahu k tvořící se povrchové kůře odlitku. Dále pak pokud je použita bentonitová směs kontaminovaná kyselými odpadními produkty z jader a přísad.

##### ***Opatření proti vzniku:***

K vyvarování se vzniku *pomerančové kůry* je nutné sledovat pH faktor bentonitové směsi. Vhodné je používat křemenný písek a různé přísady (okuje, dolomitový písek). [3], [14]

#### 4.1.7 ZVRÁSNĚNÍ POVRCHU (272)

Odlitek s touto vadou má hladký, ale nepravidelně vrásčitý povrch. Má hlubší brázdy a zavalené hrany. *Zvrásnění povrchu* odlitku souvisí s tvorbou oxidických plen (kůží, blan), které vznikají reoxidací a převládají v nich prvky Si, Mn, Cr, Al a Mg. Sklon ke zvrásnění povrchu mají chromové, chromniklové oceli, zejména s přísadou titanu a vysokolegované manganové oceli (Hadfieldovy). [2], [3]

### ***Příčiny vzniku:***

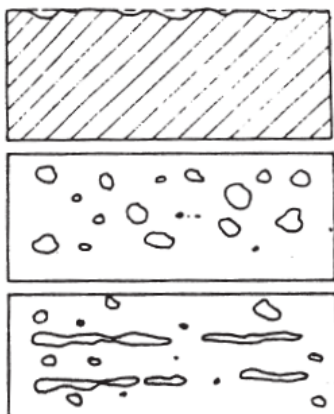
Příčinami jsou styk tekutého kovu s oxidačním prostředím formy při odlévání, slitina s obsahem prvků Si, Mn, Cr, Al, Mg a nízká lící teplota.

### ***Opatření proti vzniku:***

K prevenci vzniku je třeba správně zvolit Al k potlačení reoxidace tekutého kovu, zajistit redukční atmosféru ve formě a při lití chromových ocelí foukat argon a dusík. [14]

## **4.1.8 NEŠTOVICE (273)**

Povrch odlitku s touto vadou je postižen doličky, které vypadají jako lidská tvář po onemocnění neštovicemi. *Neštovice* jsou charakteristickou vadou masivních



Obr. 4.10 Schéma vady neštovice [14]

tlustostěnných ocelových odlitků, které jsou odlévány do zásaditých magnezitových nebo chrommagnezitových forem. Vada je nepřipustnou pokud hloubka doličku přesáhne velikost přídavku na opracování. *Neštovice* se netvoří na vršcích odlitků a na plochách přivrácených k hladině tekutého kovu. [2]

### ***Příčiny vzniku:***

*Neštovice* vznikají při nevhodné prodyšnosti a propustnosti líce formy, dále při vzniku oxidačně působících plynů v syrové formě a u chrommagnezitových forem pojených vodním sklem.

### ***Opatření proti vzniku:***

K základním opatřením proti vzniku vady patří správný výběr zásaditých, jemnozrnných ostriv a volba optimální doby vytvrzení forem oxidem uhličitým. [14]

## **4.1.9 VADY POVRCHOVÉ OCHRANY ODLITKU (280)**

Na konec výroby odlitku se na jeho povrch nanáší ochranné nátěry, které chrání odlitek proti korozi. Tyto antikoroziční nátěry jsou ředěny organickými ředidly nebo vodou. Odběratelé obvykle reklamují špatnou přilnavost nátěrů, jejich odlupování, nedostatečnou nebo nadměrnou vrstvu, nedostříknutí, poškození vrstvy, poškrábání a celkově nevyhovující korozní odolnost. Mezi vady této skupiny lze zahrnout i „rezivění“ povrchu odlitku z antikoroziční oceli. Vada se vyskytuje rezivými povlaky v některých místech nebo na celém povrchu odlitku.

### ***Příčiny vzniku:***

Příčinou vzniku této vady je nedodržování technologické kázně, která se projevuje nanesením nátěru na nedokonale očištěný povrch odlitku. *Vady povrchové ochrany* vznikají také tím, že se do dílen, kde se nátěry nanášejí, dováží odlitky znečištěné, mokré a již zrezivělé. Příčinou vady „rezivění“ povrchu odlitku z antikoroziční oceli je tenká vrstva nelegované oceli, která vznikla otěrem tohoto odlitku o ocelové části čistírenských zařízení nebo tryskacího materiálu.

### ***Opatření proti vzniku:***

Prevencí je zajištění kvalitních nátěrů a kontrola při expedici odlitků. Aby nedocházelo k rezivění odlitků z antikorozičních ocelí, je vhodné používat tryskací materiál



z nerezavějících ocelí nebo keramiky. Dalším opatřením je moření povrchu odlitků před expedicí. [2], [3]

## 4.2 DUTINY (400)

Tato třída slévárenských vad zahrnuje čtyři skupiny (*bubliny*, *bodliny*, *odvařeniny*, *staženiny*), které se dále dělí na 14 druhů vad. *Dutiny* v ocelových odlitcích mohou být jak otevřené (zjevné), tak uzavřené pod povrchem (skryté). Otevřené dutiny jsou snadno zjistitelné vizuální prohlídkou, uzavřené lze identifikovat pouze pomocí speciálních metod, nejčastěji pomocí ultrazvuku nebo rentgenovým zářením nebo gama zářením.



Obr. 4.11 Dutiny na vývrtu z masivního ocelového odlitku [19]

Vady této třídy jsou převážně neopravitelné kromě staženin, které v některých případech mohou být odstranitelné a lze je opravit. Většina odlitků se proto musí vyřadit (zmetkovat).

*Bubliny*, *bodliny* a *odvařeniny* jsou způsobeny přítomností určitých plynů v tavenině i slévárenské formě. *Staženiny* jsou spojeny s výsledkem fyzikálního pochodu zmenšování objemu kovu (stahování) při jeho tuhnutí. Hlavní příčiny vzniku vad této

třídy spočívají v metalurgické fázi výroby oceli. Na příčinách dutin se také významně podílí příprava forem a jader ve slévárnách. [2], [5]

### 4.2.1 BUBLINY (410)

*Bubliny* v ocelových odlitcích bývají vždy závažným technologickým problémem, neboť odlitky s bublinami je nutné téměř vždy zmetkovat. *Bubliny* jsou dutiny v odlitku, které mohou být spojeny s jeho povrchem (otevřené), nebo se mohou nacházet uvnitř odlitku (uzavřené). Otevřené bubliny bývají silně zoxidované. Uzavřené mají čistý, hladký povrch a jsou pokryté nanejvýš tenkou vrstvou oxidů. *Bubliny* se mohou tvořit jednotlivě, nebo v rozsáhlých shlucích a mohou se vyskytovat v celém objemu odlitku. Mohou mít také rozmanité tvary. Podle původu se *bubliny* rozdělují na endogenní (vnitřní) a exogenní (vnější). Mohou se ale také vyskytovat ve vzájemné kombinaci. Endogenní bubliny vznikají z plynů rozpuštěných v oceli, pokud tlak rozpuštěných plynů převyší odpory působící proti nim. Tyto bubliny mají obvykle lesklý a neoxidovaný povrch stěn, který někdy může zobrazovat průběh fázových transformací. Pokud jsou endogenní bubliny spojeny s povrchem, pak je jejich povrch zoxidován a vrstva oxidů je následkem fázových transformací často fragmentována. Exogenní bubliny vznikají při odlévání, když tlak plynů v okolí odlitku převyší odpor, který mu klade tuhnoucí povrchová vrstva, a plyny proniknou do odlitku. *Bubliny* mají obvykle kulový až elipsoidický tvar. *Bubliny* se jako skupina vad člení na *bubliny způsobené kyslíkem* (411), *bubliny způsobené vodíkem* (412) a *bubliny způsobené dusíkem* (413). Tyto typy *bublin* mají společnou základní příčinu, která spočívá v tom, že během odlévání a chladnutí kovu se při poklesu teploty snižuje rozpustnost plynů v kovu. Při překročení mezní rozpustnosti závislé na teplotě, tlaku a složení slitiny se tyto plyny vyloučí ve formě *bublin*. Tato skupina vad dále zahrnuje vadu *zahlcený plyn* (414) a *sítkovité bubliny* (415). [3], [20], [21]

### **Příčiny vzniku:**

*Bubliny způsobené kyslíkem (411)* se u ocelových odlitků vyskytují často a lze je objevit při výrobě oceli pouze při velmi hrubém porušení dezoxidační kázně. Kyslík nezpůsobuje bubliny přímo. Prostřednictvím jeho reakce s uhlíkem vzniká oxid uhelnatý, který je příčinou vzniku bublin, jenž jsou zachycovány v objemu tuhnoucího kovu. Bubliny CO mohou vznikat také v odlitcích z dobře dezoxidované oceli v důsledku reoxidačních pochodů.

*Bubliny způsobené vodíkem (412)* vznikají následkem přesycení taveniny rozpuštěným vodíkem při chladnutí a tuhnutí slitiny v odlitku. Z hlediska sklonu k tvorbě bublin je vodík více nebezpečný u nelegovaných nízkouhlíkových ocelí než u ocelí se zvýšeným obsahem uhlíku.

*Bubliny způsobené dusíkem (413)* vznikají přesycením taveniny rozpuštěným dusíkem při chladnutí a tuhnutí slitiny v odlitku. Situace je obdobná jako při přesycení taveniny železa s vodíkem. [2], [3]

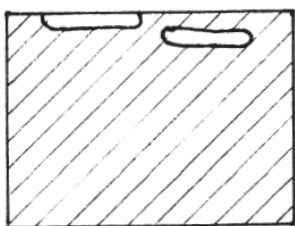
### **Opatření proti vzniku:**

Prevence vzniku *bublin* spočívá především v ovládání a řízení technologických činitelů, které rozhodují o naplynění tavenin slitin železa. V úvahu je třeba vzít to, že na tvorbě *bublin* se podílí téměř vždy více navzájem závislých činitelů. Mezi ně se řadí faktory metalurgické technologie (tavení, odlévání) a faktory slévárenské technologie (konstrukce forem a jader, jejich složení a skladování). [19]

#### **4.2.2 ZAHLCENÝ PLYN (414), SÍTKOVITÉ BUBLINY (415)**

Vada *zahlcený plyn* se projevuje vznikem dutin s hladkými a zaoblenými stěnami ve tvaru zploštělých a rozměrných bublin (puchýřů). Nejčastěji je lze nalézt na povrchu odlitku buď izolovaně, nebo ve shlucích. Tyto dutiny bývají obvykle otevřené, ale mohou být také zalité pod tenkou vrstvou kovu. Tato vada představuje zjevnou vadu, zjistitelnou prostým okem. Je možné ji opravit zavařením.

*Síťkovité bubliny* jsou malé povrchové dutiny o velikosti 1 až 2 mm. Mají kulovitý tvar a vyskytují se pouze v lící kůře odlitku. Povrch odlitku má pak charakter jemné síťky. [3]



Obr. 4.12 Schéma vady zahlcený plyn [19]

### **Příčiny vzniku:**

Vznik *zahlceného plynu* bývá nejčastěji způsoben nevhodnou konstrukcí formy, nesprávným a nevhodným formovacím postupem, především špatným odvzdušněním formy a jádra. Na množství zachyceného plynu ve formě má vliv také rychlost plnění formy a lící rychlost odlévané slitiny.

Na vznik *síťkovitých bublin* má velký vliv vypařování vody v syrových nebo nedostatečně vysušených formách a jádrech. Pravděpodobnost vzniku vady vzrůstá s malou prodyšností forem.

### **Opatření proti vzniku:**

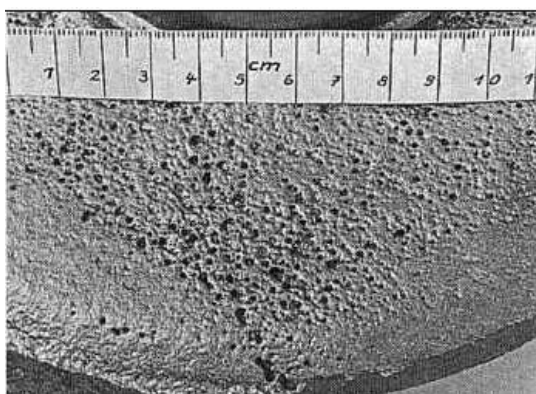
K prevenci vzniku *zahlceného plynu* při odlévání taveniny do formy je zapotřebí, aby byl nejprve vytlačen vzduch z dutiny formy, který ji vyplňoval, dále plyny uvolňující se z formovacích hmot a také vypařující se vlhkost z formy. Pro zvětšení odsávacího účinku se unikající plyny zapalují ihned po začátku odlévání.

Vzniku *síťkovitých bublin* je možné předejít dodržením předepsané vlhkosti formy, optimálního stupně zhuštění a prodyšnosti formy. Při použití směsí s organickými

pojivky je nutné dodržovat jejich správný obsah. Je výhodné použít vysoce jakostní pojivo, které při malém obsahu ve směsi poskytuje vysokou pevnost. [2], [3], [11]

#### 4.2.3 BODLINY (420)

*Bodliny* jsou malé a kolmo k povrchu odlitku protáhlé dutiny s hladkým povrchem. Vyskytují se těsně pod povrchem odlitku a k povrchu vyúsťují malými, jakoby kapilárními otvory. Délka bodlin několikanásobně (3krát až 10krát) převyšuje průměr, který je okolo 1 až 2 mm. *Bodliny* lze zviditelnit pomocí tepelného zpracování a otryskání odlitků. Vnitřek bodlin je pokryt oxidickými vrstvami. Tato vada se u nás začala vyskytovat ve větší míře s rozšířením formování do syrových, nesušených forem v druhé polovině čtyřicátých let dvacátého století. [3], [20]



Obr. 4.13 Bodliny vzniklé reakcí oxidů na CO [5]

##### *Příčiny vzniku:*

Teoretických výkladů vzniku *bodlin* je několik. Původně se vznik *bodlin* přisuzoval vodíku nebo oxidu uhelnatému (CO). Nejpravděpodobnějším vysvětlením je tvorba CO, který vzniká reakcí uhlíku v tekuté oceli s oxidem železnatým, případně přímo s kyslíkem rozpuštěným v povrchových vrstvách tuhnutí odlitku. Hlavním původcem je tedy reoxidace a vznik CO a vlhkost, především z formovacích směsí. Dalšími činiteli, které mají vliv na

bodlinatost odlitků jsou stupeň průtočnosti taveniny danou oblastí formy a tenkostěnnost odlitků. S rostoucím stupněm průtočnosti a tloušťkou stěn odlitku se sklon k bodlinám snižuje a s vlhkostí vzduchu se snižuje. [2], [5], [11]

##### *Opatření proti vzniku:*

Zamezit vzniku *bodlin* lze nejlépe tím, že se zabrání reoxidaci oceli. K tomu je třeba v oceli vytvořit přebytek dezoxidačních prvků (Al, Ca, Si), na které se kyslík pevně naváže. Nejlepším dezoxidačním prvkem, který likviduje přísun kyslíku z vlhké formy je hliník. Dále je nutné dodržovat předepsanou vlhkost formovací směsi a zabránit navlhčení jader. [3], [11]

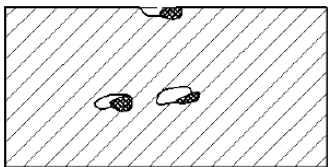
#### 4.2.4 ODVAŘENINY (430)

Do této skupiny se řadí 3 druhy vad. *Odvařeniny* se mohou tvořit *od formy, jádra (431)*, *od chladítek a zalévaných předmětů (432)* a *od vměstků (433)*. Tyto vady vznikají především u syrových forem, které obsahují vlhkost.

*Odvařeniny od formy* tvoří otevřené, hladké dutiny na povrchu odlitku. Uvnitř jsou pokryty zoxidovaným povrchem. Vyskytují se převážně v různých koutech odlitku, kde je forma obklopena kovem a kde bývá méně upěchována. Různý charakter a tvar může mít *odvařenina od jádra*. Silné odvaření od jádra je doprovázeno vyhazováním kovu z otevřených nálitků nebo výfuků.

*Odvařeniny od chladítek a zalévaných předmětů* tvoří často uzavřené dutiny. Chladítka jsou vyrobená ze slitin železa a slouží k řízení tuhnutí kovu ve formě.

*Odvařeniny od vměstků* mají stejný vzhled jako předchozí odvařeniny. Jsou exogenního původu a vznikají jako důsledek reoxidačního procesu. [2], [11]



Obr. 4.14 Schéma vady odvařeniny od vměstku [11]

#### **Příčiny vzniku:**

Nejčastějšími příčinami vzniku *odvařenin* je nedostatečné odvzdušnění forem a špatné nebo žádné odvzdušnění jader. Často dochází k zalití odvzdušnění jádra kovem a tím se přeruší odvod vznikajících plynů. K odvaření může docházet také od keramiky, která je součástí složených odlitků kov – keramika. Další příčinou jsou znečištěná chladítka, na kterých nesmí být rez či mastnota. Při kontaktu taveniny s nečistotami na

chladítka probíhají chemické reakce spojené s tvorbou plynů za vzniku bublin v kovu. [2]

#### **Opatření proti vzniku:**

K prevenci vzniku *odvařenin od formy a jádra* je třeba dbát na kontrolu prodyšnosti směsi a na postupy odvzdušnění formy a jádra.

U *odvařenin od chladítek a zalévaných předmětů* je důležité zajišťovat čistotu a dokonalé skladování všech druhů chladítek.

K omezení výskytu *odvařenin od vměstků* je třeba dbát na všechna opatření, která jsou stejná jako u vad při naplňování kovu (vady 411, 412, 413), *struskovitosti* (vady 511, 512) a *zadrogeninám* (521). [3]

### **4.2.5 STAŽENINY (440)**

Skupina vad *staženiny* se rozděluje na 6 druhů vad. Mezi ně patří *otevřené staženiny* (441), *vnitřní, uzavřené staženiny* (442), *řediny* (443), *staženiny od jader nebo ostrých hran forem* (444), *povrchové propadliny* (445) a *plynové staženiny* (446). Obecně staženiny představují uzavřené nebo otevřené dutiny, které vznikají v důsledku zmenšování objemu slitiny při tuhnutí. Tento složitý fyzikální pochod je označován jako stahování a je fyzikální vlastností každého litého materiálu. Základní příčinou vzniku staženin je nedostatečné objemové doplnění taveniny během tuhnutí. [2], [22]



Obr. 4.15 Staženina [16]

*Otevřené staženiny* jsou obvykle vnější otevřené dutiny s krystalickým a zoxidovaným povrchem. Zasahují do různé hloubky odlitků a obvykle se nacházejí pod špatně dimenzovanými otevřenými i uzavřenými nálitky. Jsou viditelné při vizuální kontrole a je možné je opravit zavařením. U ocelových odlitků bývá staženina větší než u jiných materiálů.

*Vnitřní, uzavřené staženiny* jsou dutiny uvnitř odlitků, které se vyskytují v místech tepelných uzlů, které nejsou nalitkovány nebo v tepelných uzlech,

které tuhnou později než příslušný nálietek. Mají obvykle nepravidelný tvar s dendritickým (stromečkovitý tvar) povrchem.

*Řediny* jsou malé a rozptýlené staženiny, které se vyskytují v tepelných osách a jiných tepelných centrech odlitků. Řediny vytvářejí řídká místa, která činí stěnu odlitku porézní. U ocelových odlitků má na rozsah ředin určitý vliv složení oceli, především pak obsah uhlíku. Čím větší je interval tuhnutí, tím větší je nebezpečí vzniku ředin.



Příznivě působí tlak, pod kterým překonává dosazující tavenina odpor mezi skelety, dále delší doba tuhnutí a větší tloušťka odlitku. [22]

*Staženiny od jader nebo ostrých hran forem* jsou staženiny nebo řediny, vyvolané prohrátým jádrem nebo ostrou hranou formy. Většinou jsou propojeny s povrchem a často se prolínají s plynovými staženinami.

*Povrchové propadliny* jsou charakterizovány mírně propadlým (někdy jen prohlým) povrchem horní plochy odlitku, obvykle v tlusté, nenálitkové části stěny. Pod propadlinou většinou bývá menší nebo větší uzavřená staženina.

*Plynové staženiny* jsou dutiny v odlitku, které vyúsťují až na jeho povrch. Okraje dutin jsou hladké vlivem průchodu plyn. Nejčastěji se vyskytují na prohrátých místech ostrých hran formy, pískových koutů a tenkostěnných jader.

#### **Příčiny vzniku:**

Příčinou vzniku *otevřených staženin* je nedostatečné objemové doplnění taveniny v době tuhnutí odlitku, což může způsobovat především nenálitkování tepelného uzlu nebo tlustší stěny odlitku nebo nedostatečně dimenzovaný nálietek, který zabezpečuje příslušný tepelný uzel odlitku.

*Vnitřní, uzavřené staženiny* vznikají, jako v předchozím případě, zmenšením objemu kovu při tuhnutí. Hlavní příčinou je nevhodná konstrukce odlitku, který nelze vždy z různých důvodů kvalitně vyrobít. Ze slévarenských technologických zásad je to například nevhodná poloha odlitku (tepelné uzly ve spodu formy), nedostatečný objem náliťků a špatné rozmístění náliťků nad tepelnými uzly či nevyužití chladítek.

Příčiny vzniku *ředin* jsou stejné jako v předchozích staženinách. Ředina již může vzniknout již při mírném nehomogenním rozložení teplot v průřezích odlitku nebo při nedostatečném usměrněném tuhnutí odlitku.

Základní příčinou vzniku *staženin od jader nebo ostrých hran formy* je vysoký stupeň prohrátí formovací směsi, takže je narušeno teplotní pole odlitku.

*Povrchové propadliny* na horní ploše odlitku se nachází nad masivní části odlitku, lokálně zesíleném místě (tepelným centrem), které nebylo nálitkováno ani chlazeno.

Odlišností od předchozích příčin vzniku vad je u *plynových staženin* vyloučení plynů z jádra, vzniklých rozkladem vody, které vniknou pod tlakem do tvořící se staženiny v nejteplejším místě odlitku. [3], [22]

#### **Opatření proti vzniku:**

Obecně k zamezení vzniku staženin v odlitku je třeba dodržovat všechny zásady usměrněného tuhnutí odlitku včetně vyřešení vlivu místních i odlehlých uzlů. Mezi hlavní opatření patří dokonalé vyřešení konstrukce odlitku, určení polohy odlitku ve formě, správný výpočet velikosti náliťků a jejich rozmístění a odstranění nenálitkovaných tepelných uzlů pomocí chladítek. [2]

### **4.3 MAKROSKOPICKÉ VMĚSTKY A VADY MAKROSTRUKTURY (500)**

Třída vad (500) byla pojmenována *makroskopické vměstky* proto, aby se zdůraznilo, že sem nepatří mikroskopické vměstky, které se řadí do třídy (600). Tato třída obsahuje nejobtížněji identifikovatelné vady a řadí se do ní celkem 6 skupin, kterými jsou *struskovitost* (510), *nekovové vměstky* (520), *makrosegregace a vycezeniny* (530), *broky* (540), *kovové vměstky* (550) a *nevyhovující lom* (560). Nejčastější vadou z této třídy jsou *zadrogeniny* (521) a také *sekundární struskovitost* (512). [11]

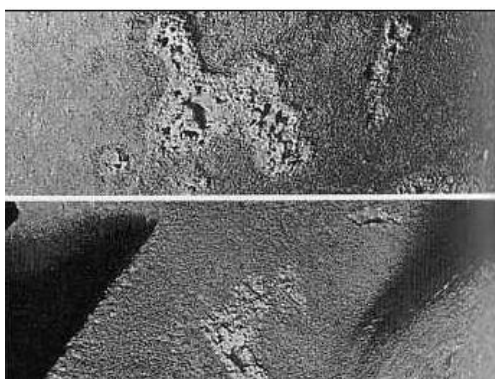
#### 4.3.1 STRUSKOVITOST (510)

Skupina vad *struskovitost* (510) zahrnuje 2 druhy vad a to *struskovitost exogenní* (511), která se u ocelových odlitků téměř nevyskytuje, a *sekundární struskovitost* (512).

*Sekundární struskovitost* je tvořena otevřenými povrchovými dutinami, obvykle na horních plochách odlitků, které jsou vyplněné silně heterogenní struskou s bublinami. *Sekundární struskovitost* se u ocelových odlitků vyskytuje daleko častěji než *struskovitost exogenní*, která je způsobena vniknutím exogenní strusky do odlitku přímo z lící pánve. Ke vzniku této vady jsou náchylné především oceli, které obsahují legovací prvek mangan.

##### **Příčiny vzniku:**

*Sekundární struskovitost* je nejčastěji produktem reoxidačních pochodů, které probíhají na rozhraní mezi proudícím tekutým kovem, atmosférou v dutině formy a formovacím materiálem. Procesu reoxidace prvků v tekuté oceli při vylévání z tavicího agregátu, z lící pánve a při protékání formou nelze zabránit. K největší reoxidaci dochází při lití do syrové formy. [2], [3]



Obr. 4.16 Sekundární struskovitost na povrchu ocelového odlitku [5]

##### **Opatření proti vzniku:**

U ocelových odlitků je třeba se řídit několika zásadami. Nejmenší nebezpečí vzniku reoxidace a tedy i vzniku sekundární strusky je v místech, kde je kov důsledně ve styku s neutrální a redukční atmosférou (sušené formy a jádra, organické směsi vytvářející redukční atmosféru). Příznivé je

zvýšení lící rychlosti, ale také snížení lící teploty a použití bezvodých žáruvzdorných nátěrů.

#### 4.3.2 NEKOVOVÉ VMĚSTKY (520)

Skupina vad *nekovové vměstky* (520) obsahuje šest nejčastěji vyskytujících se vad, jako jsou *zadrogeniny* (521), *rozplavený písek* (522), *odpadnutý nátěr* (523), *oxidické pleny* (524), *grafitové pleny* (525) a *černé skvrny* (526).



Obr. 4.17 Zadrogeniny na povrchu ocelového odlitku [23]

*Zadrogeniny* a *rozplavený písek* jsou otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) dutiny ve stěnách odlitků, které mohou být úplně nebo částečně vyplněné formovacím materiálem. Oproti *zadrogeninám* je u *rozplaveného písku* rozsah a výskyt dutin na odlitku větší. *Zadrogeniny* jsou nejrozšířenější vadou u odlitků vyráběných do pískových forem.

Vada *odpadnutý nátěr* je tvořena otevřenými nebo uzavřenými dutinami ve stěně odlitku, které jsou vyplněny nátěrovou hmotou (barvivo, námazek).

*Oxidické pleny* se nejčastěji vyskytují u ocelových odlitků z vysokolegovaných chromových a chromniklových ocelí s přísadou titanu. Méně často se objevují u odlitků z nelegovaných ocelí. Jsou to tenké, plošné filmy oxidů vznikajících na volném povrchu

taveniny při odlévání a zalitých následkem víření odlévaného kovu v povrchu i uvnitř odlitku. Ulpívají na stěnách jader a formy a zhoršují povrchovou i vnitřní jakost odlitku.

Vadu typu *grafitové pleny* lze nalézt na stěnách odlitku a mají podobu tenkých, lesklých uhlíkových plen, které jsou zvrásněné a zřetelně ohraničené. Jsou dobře vidět na lomu, nebo metalografickém výbrusu, který je zhotoven napříč vadou. Na povrchu odlitku vypadají jako jemné trhliny vyplněné uhlíkem.

#### **Příčiny vzniku:**

*Zadrogeniny* a *rozplavený písek* vznikají drobením a nesoudržností formovacího materiálu. Na jejich vznik má vliv nekvalitní provedení formy a jádra, vysoká lící teplota a přítomnost ostrých hran ve formě. [2], [3]

Nátěrové hmoty pro povrchovou ochranu pískových forem a jader při odlévání oceli chrání formy a jádra před pronikáním kovů a jejich oxidů. Na oddělení nátěru a následný vznik vady *odpadnutý nátěr* má vliv tlak plynů, nízká prodyšnost povlaků, dilatační pnutí v povlaku a eroze za horka, při které proudící kov může smýt nátěr.

*Oxidické pleny* vznikají následkem procesů reoxidace a probíhají na volném povrchu taveniny během odlévání odlitku. Mohou působit jako zdroj trhlín při tuhnutí odlitku.

Vznik *grafitových plen* je zapříčiněn uhlovodíky v přísadách nebo pojivech, které se pod účinkem odlévané slitiny mění na plyn. Poté se štěpí a vytváří na povrchu formy a proudící tavenině pleny. [3]

#### **Opatření proti vzniku:**

K zamezení vzniku *zadrogenin* je vhodné vyvarovat se ostrých hran na formě, dostatečně upěchovat formu, zhustit a vytvrdit jádra, dodržovat technologické předpisy při přípravě formovací směsi a také snížit lící teplotu a rozstřík kovu při lití z pánve. K zabránění vzniku *rozplaveného písku* je především důležité rovnoměrné plnění odlitku tekutým kovem.

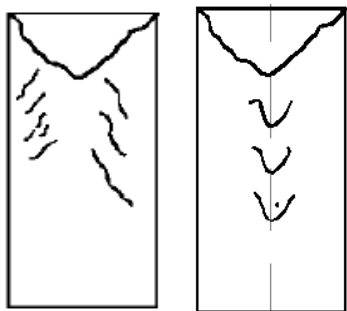
K omezení výskytu vady *odpadnutého nátěru* je třeba používat kvalitní nátěry a nanášet je pouze na dobře zhuštěné a prodyšné formy a jádra. [3]

K prevenci vzniku *oxidických plen* v odlitcích je zapotřebí co nejvíce zabránit reoxidačním procesům během odlévání. K tomu je třeba zajistit dobrou dezoxidaci odlévaných slitin a přebytek prvků s vysokou dezoxidační účinností. [2]

Opatřením proti vzniku *grafitových plen* je snížení podílu přísad, obsahujících uhlovodíky, které jsou schopny vytvářet uhlíkový povlak.

### **4.3.3 MAKROSEGREGACE A VYCEZENINY (530)**

Skupina *makrosegregace a vycezeniny* (530) obsahuje 4 druhy vad jako *gravitační odmíšení* (531), *makroodmíšení* (532), *stvolové vycezeniny* (533) a *mezerové vycezeniny* (534). Druh vady *gravitační odmíšení* (531) se vyskytuje především u neželezných kovů, například bronzů a mosazí.



Obr. 4.18 Schéma vady stvolové vycezeniny (vlevo) a mezerové vycezeniny (vpravo) [11]

Vada *makroodmíšení* (fyzikální odmíšení) je výsledek fyzikálního pochodu během tuhnutí taveniny v rozmezí teplot likvidu a solidu. Odmíšení (segregace) je vada homogenity a struktury odlitku. V průřezu odlitku nebo ingotu dojde k chemické nesterijnorodosti – makrosegregaci.

*Stvolové vycezeniny* (tzv. *A segregace*) je vada, která tvoří oblasti zvýšené koncentrace odměšujících

prvků, příměsí, nečistot a zplodin různých reakcí, které probíhají ve slitině při selektivním tuhnutí. Tyto vycezeniny jsou soustředěny mezi větvemi dendritů. V ocelích obsahují vysoký podíl síry, fosforu, uhlíku, manganu a molybdenu. Vznikají v těžkých masivních odlitcích a ingotech a vytvářejí charakteristické pásy ve tvaru písmena A.

Vada s názvem *mezerové vycezeniny* (tzv. *V segregace*) je tvořena nečistotami a shluky odmišlených příměsí, které vyplnily při tuhnutí mezery a větší dutiny v odlitku. Pro tyto vycezeniny je charakteristické, že se vyskytují v osových částech ingotů a masivních odlitků. [2], [3],

#### ***Příčiny vzniku:***

Příčina vzniku vady *makroodmišení* je způsobena omezenou (rozdílnou) rozpustností jednotlivých prvků v tekuté a pevné fázi. Při krystalizaci taveniny s více prvky dochází k segregaci prvků. Poté je ztuhlá fáze o některé prvky ochuzena a tavenina naopak obohacena vůči původnímu složení taveniny.

Názory vztahující se ke vzniku *stvolových vycezenin* nejsou jednotné. Existují dvě teorie. První teorie vychází z předpokladu, že dojde k vytvoření kanálku (stvolu), který je následně vyplněn matečnou taveninou s odmišleninami. Podle druhé teorie jsou vycezeniny vyvolány prouděním taveniny se stoupajícím obsahem příměsí ve dvoufázovém krystalizačním pásmu na základě rozdílné hustoty. [3]

*Mezerové vycezeniny* mohou vzniknout tak, že nečistoty a shluky odmišlených příměsí při tuhnutí zatečou do mezer a větších dutin, které vznikly díky nejrozličnějším příčinám. Jsou jimi například vnitřní trhliny, řediny či staženiny. [2], [3]

#### ***Opatření proti vzniku:***

Aby nedošlo ke vzniku *makroodmišení*, je možné odmišení ve slitině potlačit snížením přehřátí slitiny během odlévání, dále nižší rychlostí odlévání a vyšší rychlostí tuhnutí.

Opatření k úplnému zabránění vzniku *stvolových vycezenin* neexistují, přesto lze jejich výskyt potlačit stejným způsobem jako při makroodmišení, dále snížením hmotnosti odlitku a snížením obsahu síry, fosforu a uhlíku ve slitině. [2]

Jedno z opatření k zabránění tvorbě *mezerových vycezenin* spočívá ve snížení objemu odměšujících příměsí, konkrétně ve snížení obsahu odměšujících prvků (S, P, C, O). Je vhodné také masivní odlitky o vysoké štíhlosti odlévat ve vodorovné poloze. [2]

### **4.3.4 BROKY (540), KOVOVÉ VMĚSTKY (550), NEVYHOVUJÍCÍ LOM (560)**

*Broky* jsou charakterizovány jako malé zoxidované kovové vměstky, které mají tvar kuliček. Nachází se ve spodních částech odlitků a jejich složení je stejné jako složení slitiny odlitku.

Vadu typu *kovové vměstky* tvoří kovové, cizorodé částice, které jsou svým chemickým složením zřetelně odlišné od základního kovu. Nejčastěji to jsou neroztavené přísady, feroslitiny, zbytky a úlomky chladítek.

*Nevyhovující lom* je charakterizován jako odchylka vzhledu náhodně vybraného nebo zkušebního odlitku od stanoveného normálu nebo od lomu připraveného na základě předem sjednaných technických přejímacích podmínek mezi výrobcem a odběratelem. [2], [3],

#### ***Příčiny vzniku:***

Vada typu *broky* může vzniknout při prudkém vlévání taveniny do vtokového systému, kdy dojde k vystříknutí kapek kovu nebo při použití nesprávně provedených vtoků.

Vystříknuté kapky, které vytvoří broky, se usadí v různých místech formy, kde se ochladí a následně se s proudem kovu již nespojí.

Vada *kovové vměstky* vzniká neroztavením kovových předmětů, které se z technologických důvodů vkládají do formy, dále nerozpuštěním feroslitin, jiných kovových předmětů a nečistot zanesených do formy.

*Nevyhovující lomy* se z fyzikálně metalurgického hlediska podle vzhledu lomu a podmínek vzniku rozlišují na lomy tvárné (houževnaté), štěpné (křehké), únavové, korozní pod napětím a lomy při tečení. Pojem defektního, nevyhovujícího lomu záleží na technických přejímacích podmínkách, kdy jednou může být lom pokládán za defektní, jindy za defektní lom pokládán není. Příčiny defektních lomů jsou velice rozmanité a často velmi složité. [3]

#### **Opatření proti vzniku:**

K zamezení vzniku *broků* je vhodné zabránit rozstříku kovu, zajistit plynulé plnění formy tekutým kovem, snížit ochlazovací účinky formy a lící teplotu, pokud je to možné.

Zabránit vzniku *kovových vměstků* lze péčí o čistotu vsázky, kovových chladítek a jádrových podpěrek, dále pak optimální teplotou taveniny a dodržováním technologické kázně. [2], [3]

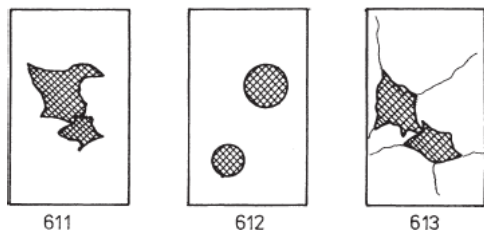
K zabránění vzniku defektního, *nevyhovujícího lomu* je třeba vypracovat na podkladě podrobné makro i mikrofraktologické analýzy, protože lomy jsou funkcí způsobu tavení, odlévání, tuhnutí a chladnutí odlitku a tepelného zpracování. [3]

## **4.4 VADY MIKROSTRUKTURY (600)**

Tato třída obsahuje 8 skupin vad, z nichž skupina *mikroskopické dutiny* (610) se dělí na 3 druhy vad. Ostatními skupinami jsou *vměstky* (620), *nesprávná velikost zrna* (630), *nesprávný obsah strukturních složek* (640), *zatvrdlina*, *zákalka* (650), *obrácená zákalka* (660), *oduhličení povrchu* (670) a *jiné odchylky od mikrostruktury* (680). U těchto vad jde většinou o odchylky parametrů vlastností odlitků od sjednaných technických podmínek a norem a tedy nikoli o vady v pravém slova smyslu. K posuzování vad této třídy je nutné provést metalografické strukturní rozbor, protože konvenčním kritériem pro odlišení makrodefektu od mikrodefektu je rozlišovací schopnost lidského oka, která se udává mezní hodnotou 0,2 mm. Vady *zatvrdlina*, *zákalka* (650) a *obrácená zákalka* (660) jsou vady především litin. [11], [24]

### **4.4.1 MIKROSKOPICKÉ DUTINY (610)**

Jsou definovány jako vnitrokrystalové a mezikrystalové, prostým okem neviditelné dutiny a porušení souvislosti odlitku, jež neodpovídají požadavkům norem a technických přejímacích podmínek. Tato skupina vad se dělí na mikrostaženiny (611), mikrobubliny (612) a mikrotrhliny (613).



Obr. 4.19 Mikroskopické dutiny [24]

#### **Příčiny vzniku:**

Uvedené vady mají do značné míry stejný mechanismus vzniku, který spočívá v nukleaci a růstu vady až po jistý mezní

rozměr, který leží pod rozlišovací schopností lidského oka. *Mikrostaženiny*, *mikrobubliny* a *mikrotrhliny* se navzájem odlišují tvarem a fyzikální podstatou vzniku.

Jejich základní příčiny vzniku jsou podobné stejným druhům vad makroskopických rozměrů. [24]

#### ***Opatření proti vzniku:***

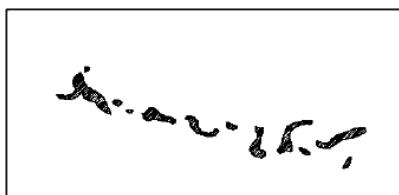
U mikroskopických dutin je třeba se řídit stejnými opatřeními jako u těchto makroskopických vad. Je tedy důležité zajistit usměrněné tuhnutí odlitků pomocí nálitků a chladítek, dolévat nálitky a snížit lící teplotu, upravit složení formovacích směsí a jejich vlhkost, zlepšit prodyšnost forem a jader a například zmenšit rozdíly v tloušťkách jednotlivých částí odlitků. [3]

### **4.4.2 VMĚSTKY (620)**

Touto vadou se rozumí mikročistota, která neodpovídá požadavkům sjednaným technickými přejímacími podmínkami. Mikročistota se vyjadřuje množstvím, velikostí, tvarem a rozložením nekovových vměstků (oxidů, sulfidů a nitridů). U ocelí se mikročistota vyžaduje a hodnotí se. Nekovové vměstky v ocelích na odlitky se rozdělují do čtyř základních typů podle klasifikace, kterou vypracovali Simma a Dahle a upravil Bůžek. [11], [24]

#### ***Příčiny vzniku:***

Při posuzování příčin vzniku *vměstků* v oceli je třeba vycházet z jejich původu, který může být exogenní, kdy jsou do oceli vměstky vnášeny působením okolního prostředí, nebo endogenní, kdy vznikají v oceli vnitřními procesy během tavení, odlévání, tuhnutí a chladnutí odlitku. Exogenní vměstky mohou být makroskopických a řidčeji mikroskopických rozměrů.



Obr. 4.20 Schéma vady vměstky [11]

#### ***Opatření proti vzniku:***

K zabránění vzniku exogenních vměstků makro i mikroskopické velikosti je třeba přijmout stejná opatření jako u vady *nekovové vměstky (520)*. Vznik endogenních vměstků je v největší míře určen závěrečnou dezoxidací ocelí v pánvi. [3]

### **4.4.3 NESPRÁVNÁ VELIKOST ZRNA (630)**

Tato vada představuje odchylky velikosti zrna od sjednaných technických přejímacích podmínek nebo od norem. Zpravidla se jedná o hrubé zrno. Nejčastěji se s touto vadou lze setkat u vysokolegovaných zušlechťených ocelí, u chromniklových korozivzdorných a austenitických manganových ocelí (Hadfieldovy oceli), u kterých je velikost primárních zrn funkcí teploty lití a rychlosti krystalizace. U ocelí je třeba rozlišovat austenitické zrno (primární a sekundární) a feritické, feriticko-perlitické a perlitické zrno. [3], [24]

#### ***Příčiny vzniku:***

Například na primární strukturu ocelového odlitku má určující vliv spolu s chemickým složením také lící teplota a tloušťka stěny odlitku. S rostoucí lící teplotou a tloušťkou stěny roste velikost primárního austenitického zrna.

#### ***Opatření proti vzniku:***

K zabránění vzniku hrubého primárního austenitického zrna je třeba odlévat ocel z co nejnižší lící teploty a použít modifikátorů a postupů ovlivňujících makrostrukturu masivních odlitků. [3]

#### 4.4.4 NESPRÁVNÝ OBSAH STRUKTURNÍCH SLOŽEK (640)

Tato vada znamená odchylku v druhu, množství, velikosti, tvaru nebo rozložení strukturních složek od ustanovení norem, nebo sjednaných technických přejímacích podmínek.

##### ***Příčiny vzniku:***

Příčiny vzniku této vady je nutné odvodit na podkladě analýz konkrétních druhů neshod. U ocelí může jít při zušlechťování o nesprávný poměr mezi podílem martenzitu a zbylých nemartenzitických složek (bainitu, perlitu a feritu). To může zapříčinit nevyhovující požadovanou tvrdost. V jiném případě ve struktuře zůstanou zbytky lící struktury, což může způsobovat vysokou křehkost oceli. [11]

##### ***Opatření proti vzniku:***

Prevence k vzniku této vady může být nasměrována do oblastí metalurgické fáze výroby, krystalizace a chladnutí odlitku a tepelného zpracování, které má největší vliv na konečné uspořádání strukturních složek v oceli. [3]

#### 4.4.5 ODUHLIČENÍ POVRCHU (670)

Vada *oduhličení povrchu* představuje nepřijatelné oduhličení povrchu odlitku, spojené s nevyhovující strukturou, která může být příčinou nevyhovující tvrdosti a pevnosti povrchových vrstev, takže odlitek nesplňuje funkční požadavky stanovené technickými přejímacími podmínkami. [2], [24]

##### ***Příčiny vzniku:***

K oduhličení vzniká v důsledku reakce uhlíku s kyslíkem za vzniku oxidu uhličitého. K velkému oduhličení povrchu ocelového odlitku dochází především v průběhu tepelného zpracování v žíhacích pecích.

##### ***Opatření proti vzniku:***

Nebezpečí nežádoucího oduhličení povrchu je malé při běžných technologických postupech výroby odlitků a jejich tepelného zpracování. Nebezpečí se může zvýšit u výroby speciálních odlitků, u kterých může být důležitá povrchová tvrdost neopracované části. [3]

#### 4.4.6 JINÉ VADY MIKROSTRUKTURY (680)

Do této skupiny se řadí odchylky od mikrostruktury stanovené normami nebo sjednanými přejímacími podmínkami, kromě vad skupin (610) až (670). Mohou to být anomální tvary, nebo neobvyklé způsoby vyloučení strukturních složek a fází, jako například u ocelí Widmannstättenova struktura, karbidy po hranách primárních austenitických zrn apod. [24]

##### ***Příčiny vzniku:***

Příčiny vzniku mohou být rozmanité a spočívat ve společném účinku činitelů metalurgických, slévárenské technologie a tepelného zpracování. Významnou měrou ke vzniku odchylek mikrostruktury může přispět způsob krystalizace a rychlost chladnutí. [3]

##### ***Opatření proti vzniku:***

Pro tyto vady nelze získat všeobecně platná doporučení a je nutné vycházet z konkrétní analýzy příčin jejich vzniku. Většinu vad mikrostruktury lze odstranit tepelným zpracováním. [24]

## 4.5 VADY CHEMICKÉHO SLOŽENÍ A VLASTNOSTÍ ODLITKŮ (700)

Tato třída obsahuje čtyři skupiny vad, které se dále nerozdělují. Jsou jimi *nesprávné chemické složení (710)*, *odchylky hodnot mechanických vlastností (720)*, *odchylky hodnot fyzikálních vlastností (730)* a *nevyhovující homogenita odlitku (740)*. Stejně jako v předchozí třídě, tak i v této třídě nejde o vady v pravém (technickém) slova smyslu, ale o odchylky parametrů a vlastností odlitků od sjednaných přejímacích technických podmínek a norem. Podle [25] je podíl výskytu vad této třídy na celkové neshodě (zmetkovitosti) vyráběných ocelových odlitků na posledním místě. Nelze však nepříznivý vliv těchto vad na jakost ocelových odlitků podceňovat. Nejmenší podíl vad v ocelových odlitcích mají v této třídě skupiny 720 a 730. [25]

### 4.5.1 NESPRÁVNÉ CHEMICKÉ SLOŽENÍ (710)

Tato vada se projevuje odchylkami chemického složení materiálu odlitku od požadované normy nebo předem sjednaných technických podmínek. Chemické složení materiálu dané normou platí pro rozbor tavby. Pokud nebyl odebrán tavební vzorek pro chemický rozbor materiálu a pro kontrolní chemický rozbor, tak se vzorek odebírá ze zkušebního bloku pro zjišťování hodnot mechanických vlastností nebo přímo z daného odlitku. [11]

#### **Příčiny vzniku:**

Možnými příčinami této vady mohou být nesprávně tříděný vsázkový materiál, šrot i přísadové materiály, nesprávný výpočet vsázky, nesprávně řízená tavba nebo porucha při tavicím procesu a nehomogenita lázně v tavicích pecích

#### **Opatření proti vzniku:**

Mezi opatření k zabránění vzniku *nesprávného chemického složení* patří řádné třídění vsázkových surovin a šrotu podle chemického složení a správný výpočet chemického složení vsázky. Tuto vadu nelze opravit a je možné ji pouze tolerovat. [3]

### 4.5.2 NEVYHOVUJÍCÍ HOMOGENITA ODLITKU (740)

Vada *nevyhovující homogenita odlitku* představuje shluky vysoké koncentrace exogenních i endogenních nekovových vměstků, sulfidů, oxidů, nitridů, shluky vycezenin, ředin, staženin a mikrostaženin, případně i výskyt hrubé primární struktury a jiných vnitřních poruch. V dosud platné normě ČSN 42 1240 tato vada uvedena nebyla. Její zavedení do klasifikace podle [3] bylo provedeno s ohledem na masivní odlitky, u kterých je velice ekonomicky náročné určovat vlastní příčiny nehomogenity.

#### **Příčiny vzniku:**

Příčiny této vady jsou různé. Záleží na tom, která slévárenská vada identifikovanou nehomogenitu způsobuje. Obvykle to jsou vnitřní dutiny, bubliny, staženiny, řediny, shluky nekovových vměstků, vycezenin, zadrobenin a difúzně nespojená vnitřní chladítka s podpěrkami jader.

#### **Opatření proti vzniku:**

Jednotlivá opatření k zabránění vzniku této vady vyplývají z opatření vad, které tuto nehomogenitu způsobují. Opravy nehomogenity odlitků jsou velmi obtížné a nákladné, proto se odlitky často zmetkují. Vnitřní homogenitu ocelových odlitků lze významně zvýšit použitím správného keramického filtru a jeho vhodným umístěním do vtokové soustavy slévárenské formy. [25]



## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést literární rešerši, pojednávající o nejčastějších vadách ocelových odlitků, jejich příčinách a preventivních opatřeních, která mohou omezit výskyt nebo zabránit vzniku vad. Práce může být pomyslně rozdělena na dvě hlavní části. První část práce, do které spadají kapitoly 1, 2 a 3, se věnovala oceli na odlitky a tomu, proč je nutné se vadami odlitků zabývat. Druhou část tvoří 4. kapitola, ve které byly popsány vybrané nejfrekventovanější vady ocelových odlitků.

V první kapitole byla zmíněna úloha oceli ve slévárenství. Podíl vyrobené oceli na odlitky z celkové výroby oceli je téměř zanedbatelný. V posledních letech se u nás výroba ocelových odlitků snižuje a dobře to nevypadá ani u ostatních slitin železa. Představa, že by se Česká a Slovenská republika opět stala největším producentem ocelových odlitků v Evropě je nereálná.

Druhá kapitola řešila potřebu zkoumání vad odlitků ve slévárenství. Získané znalosti z výzkumu slouží ke správné identifikaci vad a pomáhají snížit náklady ve slévárnách. První atlas vad odlitků byl vydán v roce už 1946 a ani tehdejší Československo nezůstalo pozadu. Byla vydána norma ČSN 42 1240, zabývající se názvoslovím a klasifikací vad. Tato norma platí dodnes. V roce 1992 byl sestaven návrh klasifikace vad, jehož číslování vad umožňuje dále se rozšiřovat. Tato klasifikace vad se ujala a dodnes se jí řídí většina slévárenských odborníků. Je otázka, zda by nebylo vhodné vydat nějakou novější klasifikaci vad odlitků, která by odpovídala dnešní době, protože je tomu už 23 let, kdy byla zmíněná klasifikace vad vydána. Možným řešením by také mohlo být znovelizování normy ČSN 42 1240.

Ve třetí kapitole byla definována samotná vada odlitku a bylo uvedeno její třídění, které je součástí norem nebo sjednaných technických podmínek mezi výrobcem a odběratelem.

Ve čtvrté kapitole byly nejčastější vady nejen popsány, ale také ke každé z nich byly uvedeny možné příčiny vzniku a opatření proti jejich vzniku. Dále bylo u některých vad uvedeno, jak je odstranit nebo opravit. Mezi nejčastější vady ocelových odlitků byly vybrány vady tříd: vady povrchu (200), dutiny (400), makroskopické vměstky a vady makrostruktury (500), vady mikrostruktury (600) a vady chemického složení a vlastností odlitků (700).

Tato práce může sloužit jako úvod do zmíněné problematiky a jako přehled těch nefrekventovanějších vad ocelových odlitků.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ELBEL, T. Úvodní slovo. *Slévárenství*. 2011, roč. 59, č. 11-12, s. 344. ISSN 0037-6825.
2. ŠENBERGER, J., a kol. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008. 311 s. ISBN 987-80-214-3632-9.
3. ELBEL, T. a kol. *Vady odlitků ze slitin železa*. 1. vyd. Brno: MATECS, 1992, s. 339.
4. ELBEL, T. Identifikace vad odlitků a příčin jejich vzniku. *Slévárenství*. 2001, roč. 49, č. 9, s. 499-503.
5. OTÁHAL, Vlastislav. *Vady odlitků Atlas Vad Železné a neželezné slitiny* [online]. 1. vyd. Brno: MetalCasting and Foundry Consult, Otáhal Vlastislav, Brno, Horská 27. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z (zkrácená verze): [http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/Vady\\_odlitku\\_vytah.pdf](http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/Vady_odlitku_vytah.pdf)
6. HLUCHÝ, M. a kol. *Strojírenská technologie*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969, s. 343.
7. PTÁČEK, Luděk, et al. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
8. SOCHOVÁ, Hana. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. *Značení ocelí – prezentace* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/ZNACENI%20OCELI\\_VY\\_32\\_INOVACE\\_15Sch.pps](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/ZNACENI%20OCELI_VY_32_INOVACE_15Sch.pps)
9. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
10. HLAVINKA, J. Přehled o slévárenské výrobě v ČR v letech 1990–2013. *Slévárenství*. 2014, roč. 62, č. 9-10, s. 386-387. ISSN 0037-6825.
11. ELBEL, T. *Diagnostika a řízení kvality odlitků* [online]. 1. vyd. Ostrava: FMMI VŠB - TU Ostrava, 2013 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin\\_Animace/Opory/02\\_Metalurgicke\\_inzenyrstvi/08\\_Diagnostika\\_a\\_rizeni\\_kvality\\_odlitku/Elbel\\_Diagnostika\\_a\\_rizeni\\_kvality.pdf](http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/02_Metalurgicke_inzenyrstvi/08_Diagnostika_a_rizeni_kvality_odlitku/Elbel_Diagnostika_a_rizeni_kvality.pdf)
12. ČECH, Jaroslav a František KRISTOŇ. *Vady a kontrola odlitků: Návod do cvičení*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 98 s. ISBN 80-214-0241-5.
13. BŘINČIL, T., J. ŠENBERGER a A. ZÁDĚRA. Bubliny v ocelových odlitcích jako důsledek reoxidace oceli. *Slévárenství*. 2009, roč. 57, č. 7-8, s. 252-256. ISSN 0037-6825.

14. JELÍNEK, P. a K. RUSÍN. Vady povrchu odlitek. *Slévárenství*. 1997, roč. 45, č. 5, s. 185-195.
15. Giesserei lexikon. *Angebrannter Sand* [online]. [cit. 2015-05-27] Dostupné z: [http://www.giessereilexikon.com/giesserei-lexikon/?tx\\_contagged%5Bsource%5D=default&tx\\_contagged%5Buid%5D=3&tx\\_contagged%5BbackPid%5D=3&cHash=3987470a940c71d82ae4c236924f756c](http://www.giessereilexikon.com/giesserei-lexikon/?tx_contagged%5Bsource%5D=default&tx_contagged%5Buid%5D=3&tx_contagged%5BbackPid%5D=3&cHash=3987470a940c71d82ae4c236924f756c)
16. AFS. *Identifying Casting Defects* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.afsinc.org/content.cfm?ItemNumber=6944>
17. STÖTZEL, R., CH. KOCH, C. LUFT a F. MEYER. Foundry Management & Technology. *New Coating, Additive Concepts for Defect- and Residue-Free Castings* [online]. 23.1.2012 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://foundrymag.com/feature/new-coating-additive-concepts-defect-and-residue-free-castings>
18. Giesserei lexikon. *Orangenschaleneffekt* [online]. [cit. 2015-05-27] Dostupné z: [http://www.giessereilexikon.com/giesserei-lexikon/?tx\\_contagged%5Bsource%5D=default&tx\\_contagged%5Buid%5D=320&cHash=8be55ad1db57d3ad1f0db407107b11a2](http://www.giessereilexikon.com/giesserei-lexikon/?tx_contagged%5Bsource%5D=default&tx_contagged%5Buid%5D=320&cHash=8be55ad1db57d3ad1f0db407107b11a2)
19. STRÁNSKÝ, K. Bubliny a bodliny v odlitcích. *Slévárenství*. 1997, roč. 45, č. 6, s. 225-232.
20. LEVÍČEK, Petr a Karel STRÁNSKÝ. *Metalurgické vady ocelových odlitek: Příčiny a odstraňování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, s. 269.
21. STRÁNSKÝ, K., P. LEVÍČEK a Z. WINKLER. Bubliny v ocelových odlitcích a některé jejich příčiny. *Slévárenství*. 1999, roč. 47, č. 4, s. 235-239.
22. ROUS, J. Staženiny v odlitcích. *Slévárenství*. 1997, roč. 45, č. 7, s. 273-279.
23. ELBEL, T. Struskovitost a vměstky. *Slévárenství*. 1997, roč. 45, č. 11-12, s. 433-438.
24. STRÁNSKÝ, K., P. LEVÍČEK a J. ŠENBERGER. Vady mikrostruktury slitin železa. *Slévárenství*. 1999, roč. 47, č. 6-7, s. 407-416.
25. STRÁNSKÝ, K., P. LEVÍČEK a J. ŠENBERGER. Vady chemického složení a vlastností ocelových odlitek. *Slévárenství*. 1998, roč. 46, č. 11-12, s. 467-472.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

1. Seznam tříd, skupin a vad odlitků [3]
2. Roztřídění vad odlitků podle skupin a druhů dle ČSN 42 1240 [20]

# PŘÍLOHY

Příloha 1 – Seznam tříd, skupin a vad odlitků [3]

Třída vad	Název třídy vad	Skupina vad	Název skupiny vad	Druh vady	Název druhu vady
100	Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti	110	Chybějící část odlitku bez lomu	111	Nezaběhnutí
				112	Nedolití
				113	Vytečený kov
				114	Špatná oprava formy
				115	Přetryskaný odlitek
				116	Omačkání, potlučení, pohmoždění
				117	Nesprávně upálený, odřezaný a obroušený odlitek
		120	Chybějící část odlitku s lomem	121	Ulomená část odlitku za tepla
				122	Ulomená část odlitku za studena
				123	Vyštípnutí
		130	Nedodržení rozměrů, nesprávný tvar	131	Špatný model
				132	Přesazení
				133	Nevyhovující rozměry
				134	Zborcení, deformace
		140	Nedodržení hmotnosti odlitků		
200	Vady povrchu	210	Přípečeniny	211	Drsný povrch
				212	Povrchové přípečeniny
				213	Hluboké přípečeniny, zapečeniny
		220	Zálupy	221	Zálup na horní ploše formy
				222	Zálup na dně formy
				223	Zálupové síťoví
		230	Nárosty	231	Vyboulení
				232	Odřetí, shrnutí
				233	Utržení, sesutí
				234	Eroze
		240	Výronky		
		250	Výpotky		
		260	Zatekliny	261	Zatekliny způsobené netěsností formy
				262	Prasklé jádro
				263	Prasklá forma
		270	Nepravidelnosti povrchu odlitku	271	Pomerančová kůra
				272	Zvrásnění povrchu
				273	Neštovice místní a čárové
				274	Okujení, opálení
				275	Krupičky
				276	Dolíčková a kanálková koroze
				277	Chemická koroze
		280	Vady povrchové ochrany odlitku		

Pokračování přílohy 1

300	Porušení souvislosti	310	Trhliny	311	Povrchové trhliny	
				312	Podpovrchové trhliny	
				313	Vnitřní trhliny	
		320	Praskliny			
		330	Porušení souvislosti mechanickým poškozením	331	Lom za tepla	
				332	Lom za studena	
		340	Porušení souvislosti nespojením kovu	341	Zavaleniny	
342	Nedokonalý svar					
400	Dutiny	410	Bubliny	411	Bubliny způsobené kyslíkem	
				412	Bubliny způsobené vodíkem	
				413	Bubliny způsobené dusíkem	
				414	Zahlcený plyn	
				415	Síťkovité bubliny	
		420	Bodliny			
		430	Odvařeniny	431	Odvařeniny od formy, jádra	
				432	Odvařeniny od chladítek a zalévanych předmětů	
				433	Odvařeniny od vměstků	
		440	Staženiny	441	Otevřené staženiny	
				442	Vnitřní, uzavřené staženiny	
				443	Řediny	
				444	Staženiny od jader nebo ostrých hran formy	
				445	Povrchové propadliny	
				446	Plynové staženiny	
		500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	510	Struskovitost	511
512	Sekundární struskovitost					
520	Nekovové vměstky			521	Zadrogeniny	
				522	Rozplavený písek	
				523	Odpadnutý nátěr	
				524	Oxidické pleny	
				525	Grafitové pleny	
				526	Černé skvrny	
530	Makrosegregace a vycezeniny			531	Gravitační odmíšení	
				532	Makroodmíšení	
				533	Stvolové vycezeniny	
				534	Mezerové vycezeniny	
540	Broky					
550	Kovové vměstky					
560	Nevyhovující lom					

Pokračování přílohy 1

600	Vady mikrostruktury	610	Mikroskopické dutiny	611	Mikrostaženiny
				612	Mikrobubliny
				613	Mikrotrhliny
		620	Vměstky		
		630	Nesprávná velikost zrna		
		640	Nesprávný obsah strukturních složek		
		650	Zatvrdlina, zákalka		
		660	Obrácená zákalka		
		670	Oduhličení povrchu		
		680	Jiné odchylky od mikrostruktury		
700	vady chemického složení a vlastností odlitků	710	Nesprávné chemické složení		
		720	Odchylky hodnot mechanických vlastností		
		730	Odchylky hodnot fyzikálních vlastností		
		740	Nevyhovující homogenita odlitku		

Příloha 2 – Roztřídění vad odlitků podle skupin a druhů dle ČSN 42 1240 [20]

Číslo skupiny vad	Název skupiny vad	Číselné označení vady	Název druhu vady
1	Vady tvaru, rozměrů a hmotnosti	11	Nezaběhnutí
		12	Přesazení
		13	Zatekliny
		14	Vyboulení
		15	Zborcení
		16	Mechanické poškození
		17	Nedodržení rozměrů
		18	Nedodržení hmotnosti
2	Vady povrchu	21	Přípečeniny
		22	Zavaleniny
		23	Zálupy
		24	Nárůsty, strupy
		25	Výronky
		26	Výpotky
		27	Okujení, opálení
		28	Omačkání, otlučení, pohmoždění
3	Přerušení souvislosti	31	Trhliny
		32	Praskliny
4	Dutiny	41	Bubliny
		42	Bodliny
		43	Staženiny
		44	Řediny
		45	Mikrostaženiny
		46	Mikrobubliny
5	Vměstky	51	Struskovitost
		52	Zadrogeniny
		53	Nekovové vměstky
		54	Broky
		55	Kovové vměstky
6	Vady struktury	61	Odmišení
		62	Nevyhovující lom
		63	Zatvrdlina, zákalka
		64	Obrácená zákalka
		65	Nesprávná struktura
7	Vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti	71	Nesprávné chemické složení
		72	Nevyhovující mechanické vlastnosti
		73	Nevyhovující fyzikální vlastnosti